

# Het Torfbroek

Biogeochemisch onderzoek en de visstand van de Torfbroekvijver, De Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver



Opdrachtgever: VLM • Projectnummer: PR 14.104  
Rapportnummer: 2015.21 • Auteurs: MP, HK, FS & RB • Datum: 07-07-2015



*Titel rapport:* *Het Torfbroek - Biogeochemisch onderzoek en de visstand van de Torfbroekvijver, De Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver*

*Auteurs:* *M.D.M. (Moni) Poelen, H.E. (Hanneke) Keizer-Vlek, A.J.P. (Fons) Smolders, en R. (Roland) Bobbink*

*Opdrachtgever:* *Vlaamse Landmaatschappij, Afdeling Oost (Leuven)*

*Rapportnummer:* *2015.21*

*Wijze van refereren:* *Poelen, M.D.M., H.e. Keizer-Vlek, A.J.P. Smolders & R. Bobbink, 2015. Het Torfbroek - Biogeochemisch onderzoek en de visstand van de Torfbroekvijver, De Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver. Rapportnummer 2015.21, Onderzoekcentrum B-Ware, Nijmegen.*

*Niets uit dit rapport mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.*

*Onderzoekcentrum B-WARE  
Mercator III  
Toernooiveld 1  
6525 ED Nijmegen  
<http://www.b-ware.eu>*



## **Inhoudsopgave**

<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1 <i>Het onderzoeksgebied</i>	5
1.2 <i>Ontwikkeling van waterplanten</i>	6
1.3 <i>Het onderzoek</i>	6
<b>2. Materiaal en methoden</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Veldwerkzaamheden biochemie</i>	9
2.2 <i>Methode staalname vissen</i>	11
2.3 <i>Analyses biochemie</i>	12
<b>3. Resultaten</b>	<b>15</b>
3.1 <i>Oppervlaktewater</i>	15
3.2 <i>Grondwater</i>	16
3.3 <i>Waterbodem</i>	21
3.4 <i>Poriewater verlandingszone</i>	24
3.5 <i>Visstand</i>	27
<b>4. Concluderende opmerkingen en aanbevelingen</b>	<b>33</b>
<b>Literatuur</b>	<b>37</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>39</b>



## Samenvatting

Het natuurreservaat 'Het Torfbroek' is het restant van een uitgestrekt moerasgebied, gevoed door zeer kalkrijk grondwater. Het aanwezige kalkmoeras en alkalische laagveen is heel uniek in Vlaanderen en West-Europa. In het reservaat liggen drie vijvers: de Fauna-Flora vijver, de Torfbroekvijver en de Ter Bronnen vijver. Het gestelde doelhabitattype van de laatste twee vijvers is H-3140: kalkhoudende oligo-mesotrofe wateren met benthische vegetaties van kranswieren. Het doelhabitattype van de Fauna-Flora vijver is in eerste instantie H-3150: van nature eutrofe meren met vegetaties van het type Magnopotamion of Hydrocharition. De belangrijkste vraag in het onderzoek was of onder de huidige omstandigheden deze habitattypen (met bijbehorende doelsoorten) wel haalbaar zijn. Om deze hoofdvraag te beantwoorden is in de periode maart – juni 2015 de kwaliteit van het grondwater, oppervlaktewater, de waterbodem, het poriewater van de verlandingszones met riet gemeten en de visstand in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver bepaald.

Uit de grondwaterchemie is gebleken dat het gebied sterk gestuurd wordt door kwelwater van het calcium-bicarbonaattype. Het systeem is arm aan ijzer en fosfor, waardoor dit hier niet of nauwelijks een rol speelt. Zowel het oppervlaktewater als het grondwater is sterk gebufferd (hoge alkaliniteit) en heeft ook een hoge pH. De hoeveelheid stikstof (in de vorm van ammonium en nitraat) is zeer laag in het oppervlaktewater in de Torfbroekvijver, intermediair wat nitraat betreft in de Ter Bronnen vijver, maar het nitraatgehalte is flink verhoogd in de Fauna-Flora vijver. Ook het grondwater dat deze vijver beïnvloedt, is sterk verrijkt met nitraat. Dit vrij lokale grondwater is afkomstig van het aangrenzend, wat hoger gelegen, landbouwgebied ten zuiden van deze vijver (Deconinck *et al.* 2006). Als gevolg hiervan is ook in de waterbodem zeer veel nitraat gemeten. Het zijn dergelijk hoge waarden dat het een negatieve invloed heeft op de kwaliteit van de vijver. In de Ter Bronnen vijver is ook een verhoogde nitraatconcentratie gemeten in het oppervlaktewater. Op een aantal locaties is tevens de concentratie sulfaat (in het grondwater, en daardoor ook in de waterbodem) sterk verhoogd. De aanvoer van veel sulfaat, in combinatie met lage ijzergehalten, kan leiden tot ophoping van sulfide in de waterbodem, hetgeen nadelig kan zijn voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Er is in alle vijvers een hoge sulfaatconcentratie in de waterbodem gemeten. De problemen zijn echter het grootst in de Torfbroekvijver. De concentraties chloride vormen hetzelfde patroon als sulfaat. Gelet op de locaties waar het grondwater de hoogste waarden sulfaat en chloride bevat, is het zeer aannemelijk dat de bron van deze verrijking de voormalige zandgroeve/stortplaats ten zuiden van het Torfbroek is (Deconinck *et al.* 2006; Boone *et al.* 2010).

In de vijvers is een slappe geelbruine sliblaag aanwezig; 15-30 cm dik in de Fauna-Flora en Ter Bronnen vijver, en wel tot 70 centimeter dik in de Torfbroekvijver. Dit wordt gedeeltelijk intern veroorzaakt door losraken van de vastere waterbodem, maar ook door externe toevoer van organisch materiaal. Met name bij de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver speelt bladval van de tot aan het water staande bomen daarbij een grote rol. In de Torfbroekvijver wordt ook organisch materiaal aangevoerd uit de rietvegetatie. Deze vegetatie zal zich hier, zonder ingrijpen, vermoedelijk blijven uitbreiden totdat er geen open water meer overblijft. De dikke slappe sliblaag zorgt met name in de Torfbroekvijver voor te weinig vaste structuur waar waterplanten zich in kunnen wortelen. Tevens slaan wortels gemakkelijk los bij harde wind of door verstoring van bodemwoelende vissen. De visstand is bepaald in de Fauna-Flora vijver en in de Ter Bronnen vijver; in de laatste is de visdichtheid het hoogst. De vispopulatie (qua aantallen) bestaat in beide vijvers met name uit ruisvoorn en zeelt, gevolgd door karper en baars. Uit de lengtefrequentieverdelingen van de individuele vissoorten blijkt dat in beide vijvers van de meeste vissoorten alleen oudere jaarklassen aanwezig zijn. Waarschijnlijk zijn deze vissen in het verleden uitgezet in de vijvers en

zullen ze uiteindelijk vanzelf uit de vijvers verdwijnen (mits geen nieuwe exemplaren worden uitgezet). De belangrijkste soorten die dan overblijven zijn de zeelt, ruisvoorn, baars en de snoek.

Om de (grond)waterkwaliteit van het gebied te verbeteren zijn er buiten het natuurreserveaat stappen te zetten met betrekking tot het landbouwgebied ten zuiden van de Fauna-Flora vijver en de voormalige zandgroeve/ stortplaats. Wat betreft het landbouwgebied is het sterk aan te bevelen om ofwel gronden aan te kopen en deze als onbemeste bloemrijke graslanden in te richten, ofwel evenwichtsbemesting toe te laten passen door de agrariërs die de gebieden beheren. Hierdoor wordt de nitraatbelasting van de Fauna-Flora vijver binnen een termijn van 2-5 jaar sterk verminderd. De voormalige zandgroeve/stort zorgt voor veel aanvoer van sulfaat en chloride in het gebied. Het is voor de kwaliteit van het Torfbroek van groot belang om deze aanrijking van het grondwater op korte termijn te stoppen. Deze maatregel heeft het grootste effect op de Torfbroekvijver en de aangelegen zone van goed ontwikkelde schraallanden.

Het verwijderen van de sliblaag in de Fauna-Flora vijver en de Torfbroekvijver is belangrijk voor de kwaliteit van het water, maar ook voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. De vaste waterbodem komt dan weer aan de oppervlakte, die enerzijds stevigheid biedt voor de worteling van waterplanten, en anderzijds gunstigere chemische kenmerken heeft dan de sliblaag. Daarnaast wordt aanbevolen om een zone van 15-20 m vanaf de oever van de Fauna-Flora vijver vrij te maken van bomen. Hiermee wordt bladinvall sterk gereduceerd, waardoor de sliblaag minder snel opgebouwd zal worden. Om te voorkomen dat het open water van de Torfbroekvijver in de loop der tijd verdwijnt door verlanding is aanpak van het riet noodzakelijk. Methoden die hiervoor toegepast kunnen worden zijn bijvoorbeeld onder water maaien of het weggraven van het riet.

Voor de Ter Bronnen vijver gelden geen aanbevelingen die op korte termijn zouden moeten worden uitgevoerd, al zijn niet alle biogeochemische eigenschappen in en rondom de vijver heel gunstig. Plaatselijk zijn er verhoogde nitraat- en sulfaatgehalten geconstateerd, in zowel grondwater, oppervlaktewater als waterbodem. De algehele situatie, zoals slibdikte en waterplantengroei is nu nog relatief goed, maar als de sliblaag in de toekomst dikker wordt, zou dit mogelijk ook problemen kunnen veroorzaken voor de vegetatie van ondergedoken waterplanten. In de toekomst kan het daarom verstandig zijn om ook bij deze vijver de oeverzone zo veel als mogelijk vrij te maken van bomen. Indien de sliblaag dikker wordt, is het ook verstandig deze te verwijderen. Aanpak van het grondwater is hier, vanwege plaatselijk verhoogde waarden van sulfaat en nitraat, ook verstandig, al is op dit moment niet mogelijk vast te stellen waar de vervuiling vandaan komt.



## 1. Inleiding

### 1.1 Het onderzoeksgebied

Het natuurreservaat 'Het Torfbroek', gelegen ten zuiden van Kampenhout, Vlaanderen, is het restant van een moeras, gevoed door zeer kalkrijk grondwater (figuur 1). Dit soort kalkmoerassen of alkalische laagvenen zijn heel uniek in West-Europa. In zowel Nederland als Vlaanderen zijn nog een aantal intacte voorbeelden ervan, maar ook veel gebieden zijn gedegradeerd, verdwenen, of niet meer functionerend als zodanig (Bobbink et al., 2013). Dit reservaat wordt gekenmerkt door vijvers, natte basenrijke schraalgraslanden en broekbos. De aangelegde vijvers te midden van dit reservaat zijn het onderwerp van deze opdracht. Het omvat de Ter Bronnen vijver, de Torfbroekvijver en de Fauna-Flora vijver.



Figuur 1: De ligging van 'het Torfbroek' ten zuiden van Kampenhout (Bron: Deconinck et al., 2006).

De Ter Bronnen vijver kenmerkt zich door uitgebreide tapijten van ondergedoken waterplanten (o.a. *Chara major* en smalbladige fonteinkruiden) en een goede waterkwaliteit. De Torfbroekvijver omvat actieve rietverlandings en een deel open water, waar zich een dikke sliblaag gevormd heeft. Een rijke waterplantenvegetatie is hier nooit aanwezig geweest, tot medio jaren negentig groeien er wel veel witte waterlelies. De Fauna-Flora vijver was tot 20 jaar geleden in gebruik als hengelvijver. De waterkwaliteit van deze vijver is minder goed dan van de andere twee vijvers. Er is echter wat

vooruitgang; hij blijft gedurende een steeds langer periode van het jaar helder. Het gestelde doelhabitattype van de Torfbroekvijver en de Ter Bronnen vijver is 3140: kalkhoudende oligo-mesotrofe wateren met benthische vegetaties van Chara vegetaties. Het doelhabitattype van de Fauna-Flora vijver is 3150: van nature eutrofe meren met vegetaties van het type Magnopotamion of Hydrocharition. Bij het eerste doelhabitat zijn met name kranswieren opgenomen als doelsoort, bij het tweede o.a. kransvederkruid en verschillende fonteinkruiden.

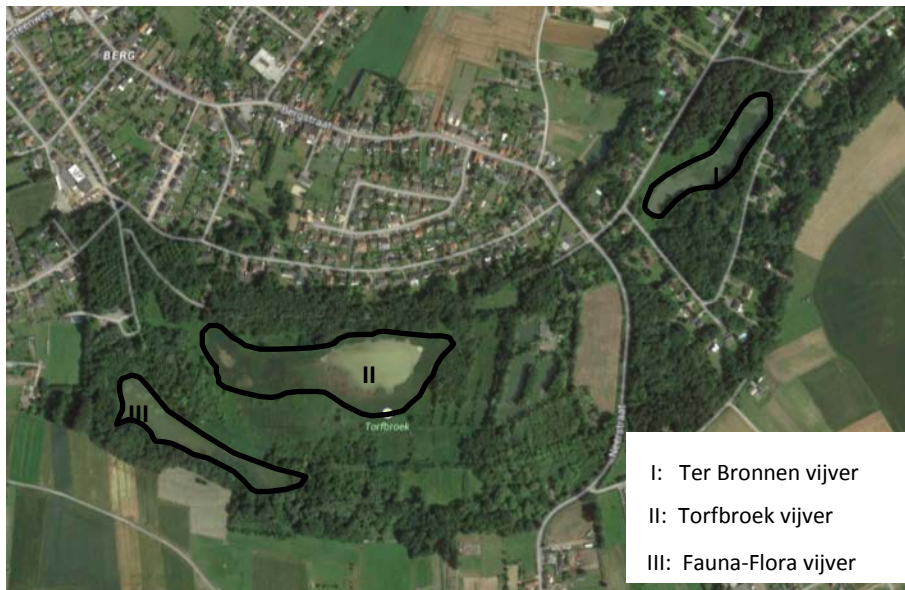
### *1.2 Ontwikkeling van waterplanten*

De ontwikkeling van (ondergedoken) waterplanten in vennen of vijvers gaat vaak geleidelijk en soms moeizaam. Een mogelijke oorzaak in het ontbreken van waterplanten in waterlichamen kan verspreiding zijn: verspreiding van zaden, of het ontbreken van een actieve zaadbank kan de (her)vestiging van waterplanten bemoeilijken. De kieming van waterplanten is een mogelijk ander knelpunt. Hierbij kan worden gedacht aan de hoeveelheid licht die op de bodem valt, de aanwezigheid van toxische stoffen, het substraat en eventuele begrazing of vraat. In het geval van een dikke sliblaag is het mogelijk dat er veel fijne zwevende deeltjes aanwezig zijn die het doorzicht van het water beperken. Anderzijds kan het voorkomen dat, als het water helder is, maar de bodem nog sterk opgeladen met nutriënten, waterplanten hele systemen gaan overwoekeren. Door deze overwoekering kunnen andere functies (bijv. de waterbergende functie) weer in het gedrang komen (Lamers et al., 2012). De gevoeligheid voor toxische stoffen verschilt sterk per plant: van krabbescheer is aangetoond dat er vanaf 10  $\mu\text{mol/L}$  sulfide al problemen kunnen ontstaan (Smolders en Roelofs, 1996). Voor ammonium werd vastgesteld dat de meest gevoelige soorten, vanaf 100  $\mu\text{mol/l}$   $\text{NH}_4$  nadelige effecten ondervonden (Lamers et al., 2010). Voor zowel ammonium als sulfide zal het ongetwijfeld per soort sterk verschillen bij welke concentraties nadelige effecten optreden. Als planten eenmaal wel gevestigd zijn, is het ook mogelijk dat de aanwezigheid van veel organisch materiaal de beworteling van het sediment bemoeilijkt (Raun et al., 2010). Een ander probleem vormt mogelijk een zeer slappe sliblaag: waterplanten kunnen zich hier moeilijk in vastzetten (Schutten et al., 2005), waardoor harde wind mogelijk grote effecten heeft op de aanwezige waterplanten.

### *1.3 Het onderzoek*

Het onderzoek richt zich met name op de Torfbroek- en de Fauna-Flora vijver, en minder op de Ter Bronnen vijver. De ligging van de vijvers is weergegeven in figuur 2.

Een belangrijke vraag in het onderzoek is of onder de huidige omstandigheden deze habitattypen (met bijbehorende doelsoorten) wel haalbaar zijn. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zal eerst de actuele situatie in kaart gebracht worden. Een belangrijke parameter in het gebied is het grondwater, dat zeer kalkrijk is en ervoor zorgt dat er zulke bijzondere vegetaties voorkomen. Behalve het toestromende grondwater is de kwaliteit van het oppervlaktewater belangrijk. De kwaliteit van het oppervlaktewater wordt in ondiepe wateren sterk beïnvloed door de kwaliteit van de onderwaterbodem. Metingen aan de onderwaterbodem geven inzicht in de mate waarin de nutriënten vanuit de waterbodem diffunderen naar de waterlaag, met een nutriëntenrijke(re) situatie als gevolg. Daarnaast zijn veel waterplanten gevoelig voor hoge gehalten aan ammonium en sulfide in het slib. Als er veel slib aanwezig is, zijn er vaak veel fijne slibdeeltjes die gemakkelijk tot opwerveling komen (zeker bij aanwezigheid van bodemwoelende vissen zoals karper of brasem), waardoor het doorzicht verminderd tot op de bodem en kieming van waterplanten bemoeilijkt wordt. Indien er een slappe sliblaag in de vijvers aanwezig is, bemoeilijkt dit ook de vestiging of handhaving van waterplanten. Bij veel wind raken ze gemakkelijk ontworteld en door minder lichtinval wordt de ontkieming van nieuwe planten geminimaliseerd.



*Figuur 2: Ligging van de drie vijvers die onderwerp zijn van dit onderzoek, te midden van het Torfbroek natuurreserveaat.*

De sliblaag in de vijvers ontstaat door afbraak van de onderwaterbodem, door nieuw gevormd organisch materiaal dat neerzakt op de bodem, maar kan ook aangevuld worden met materiaal van buiten de vijvers. Het is bekend dat bladval in vijvers nadelige effecten op de waterkwaliteit kan hebben. De bladeren bevatten voedingsstoffen en dragen daarnaast direct bij aan de ophoping van organisch materiaal.

Ondanks dat bij de Torfbroekvijver doelen gesteld worden met betrekking op het open water, zal de westelijke zone waar rietverlandings en ontwikkeling van alkalische laagveenvegetaties ook gekoesterd blijven. Het is de uitdaging om deze zone te behouden, maar ook, indien mogelijk de groei van ondergedoken waterplanten te stimuleren in het open gedeelte aan de oostzijde. In het onderzoek wordt tevens inzicht verkregen of het riet niet verder het open water in zal lopen, waardoor er op den duur geen open water meer is.

In dit onderzoek worden de volgende vragen beantwoord:

- Zijn onder de huidige omstandigheden de doelstellingen omtrent habitattypen en doelsoorten in de twee vijvers haalbaar?
- Zijn de doelstellingen haalbaar indien er actief biologisch beheer en/of ontslibbing wordt toegepast?
- Wat is de te verwachten chemische toestand van de vijvers en de directe omgeving na ontslibbing en wat is het effect op de visfauna?
- Wat is de kwaliteit van het slib en van het oppervlaktewater?
- Wat is de samenstelling van de aanwezige vispopulatie en welke dichtheden zijn er?
- Wat is het effect van bladval op de vijvers (al dan niet na ontslibbing)

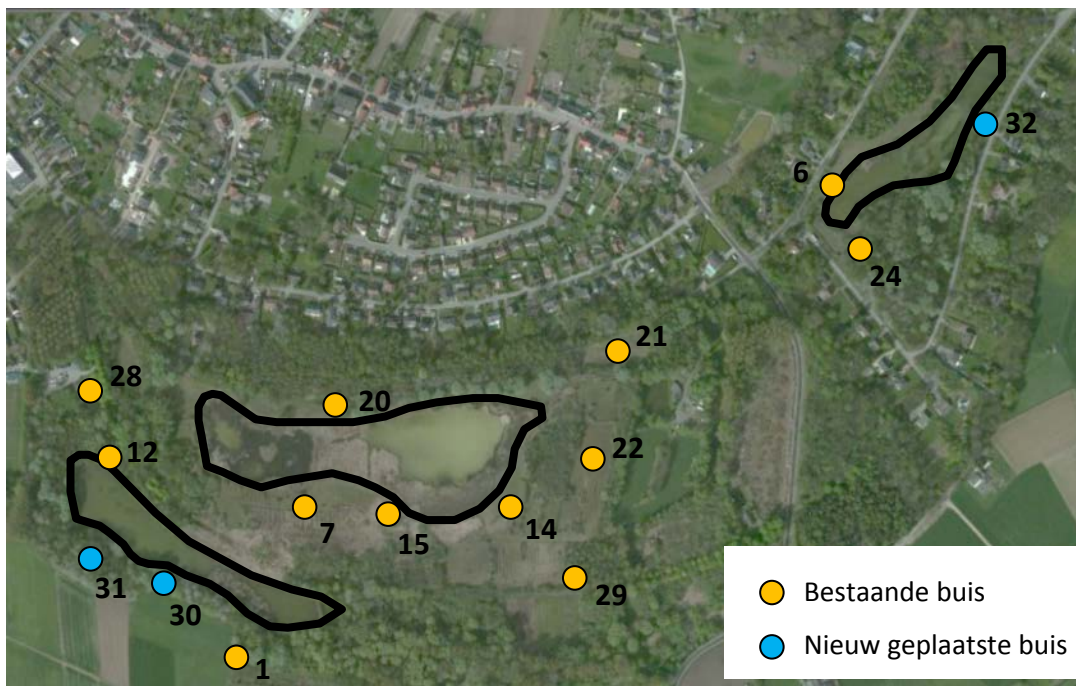
- Zijn er andere belangrijke factoren die invloed hebben op het ecologisch functioneren van de vijvers?
- Is er een verschil tussen de kwaliteit van het grondwater, oppervlaktewater en waterbodem in de Ter Bronnen vijver, ten opzichte van de Torfbroekvijver en de Fauna-Flora vijver?



## 2. Materiaal en methoden

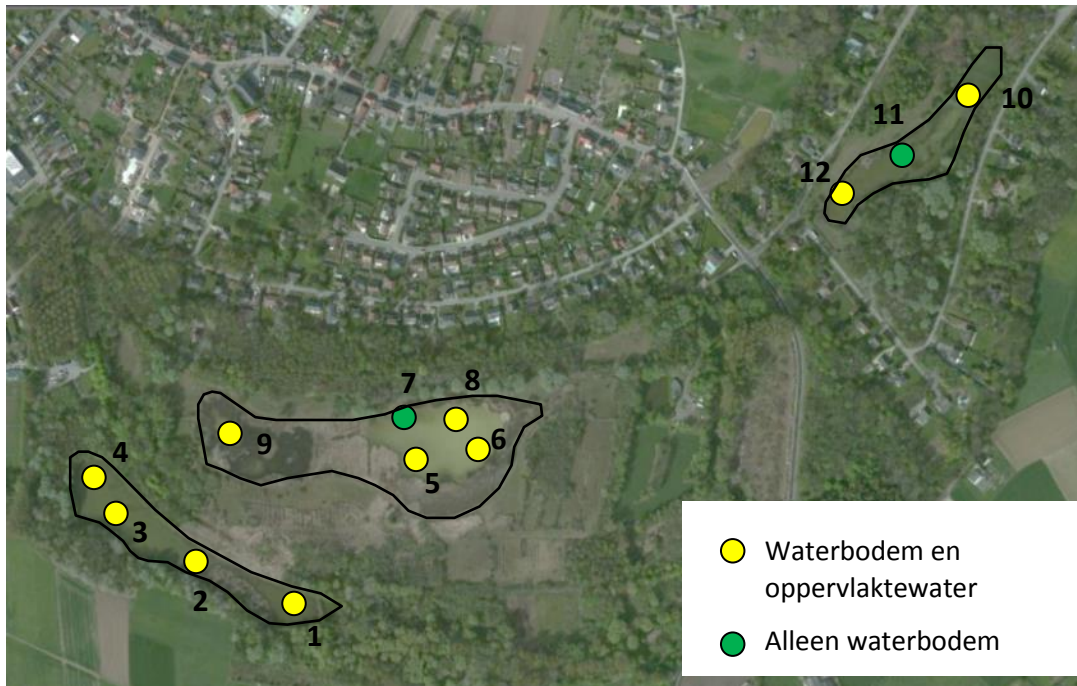
### 2.1 Veldwerkzaamheden biochemie

Op 16 en 17 maart 2015 zijn de grondwater-, oppervlaktewater, poriewater- en waterbodemstalen verzameld in en rondom de drie vijvers binnen het onderzoeksgebied. Er werd gebruik gemaakt van twaalf reeds aanwezige grondwaterbuizen (oorspronkelijke nummering is gehandhaafd), en daarnaast werden er nog drie grondwaterbuizen bijgeplaatst (figuur 3). De diepte en de exacte locatie van de grondwaterbuizen is weergegeven in bijlage I. Bij iedere buis werd de grondwaterstand gepeild, waarna een staal werd verzameld. De stalen zijn zoveel mogelijk luchtdicht bewaard en in het lab werden direct de eerste metingen gedaan. Daarna zijn ze gekoeld (4°C) en donker opgeslagen tot verdere analyse (zie paragraaf 2.3).



Figuur 3: De ligging van de grondwaterbuizen rondom de drie onderzochte vijvers.

Behalve het grondwater werden ook stalen in de vijvers genomen, waarbij zowel de waterbodem als het oppervlaktewater werd verzameld. Op twaalf locaties werd de waterbodem bemonsterd, op tien locaties de waterlaag (figuur 4). De waterbodem werd verzameld met behulp van een zuigerboor (figuur 5, links); de zuigerboor bestaat uit een transparante kunststof steekbuis waaraan verlengstangen kunnen worden bevestigd. De steekbuis wordt middels het stangenstelsel in de bodem gedrukt. De zuiger in de steekbuis zorgt voor een onderdruk, waardoor het staal gemakkelijker in de buis wordt opgenomen. Met deze methode is het mogelijk om nauwkeurig de waterbodem te bemonsteren. De waterbodem werd in tweevoud verzameld; één staal voor de bodemanalyse en één staal voor de poriewateranalyse. De stalen zijn anaëroob naar het lab vervoerd en na handmatige homogenisatie is er poriewater onttrokken, met behulp van teflon rhizons (Eijkelpark Agriseers) en vacuüm 60 ml spuiten. Het andere staal is gekoeld en donker opgeslagen tot de start van de analyse. Het oppervlaktewater is verzameld in 500 ml poly-propyleen potten en tevens gekoeld en donker opgeslagen tot analyse, nadat de eerste analyses waren voltooid.



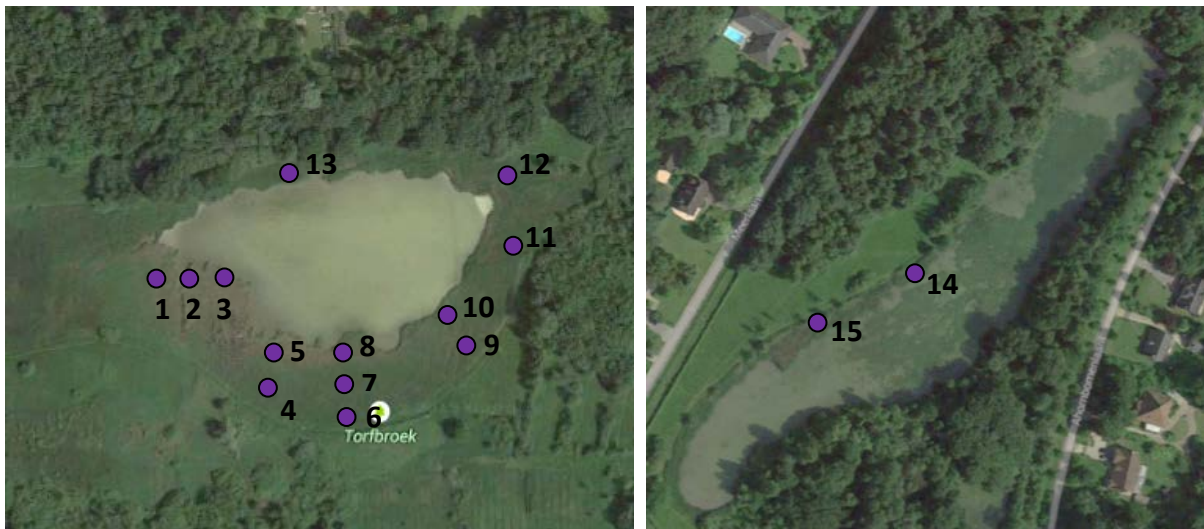
*Figuur 4: De locaties van de bemonsterde waterbodem en oppervlaktewaterstalen.*



*Figuur 5: Een zuigerboor met een profiel van een onderwaterbodem (links) en lysimeters om stalen van het poriewater in de rietvegetatie te verzamelen (rechts)*

Er werd op dertien locaties poriewater verzameld van 20 cm en 40 cm diepte in het verlande gedeelte van de Torfbroekvijver, evenals twee locaties in Ter Bronnen (figuur 6). Op vijftien locaties werd een lysimeter geplaatst (op zowel 20 als 40 cm diepte van de bovenkant van de zode), die vervolgens werd verbonden met een vacuüm 60 ml spuit. De eerste analyses vonden plaats kort na aankomst in het laboratorium, daarna werden ze opgeslagen bij 4°C in het donker tot verdere analyse.





*Figuur 6: De locaties van de staalname van poriewater in de rietvegetaties, waarbij steeds een staal werd verzameld op zowel 20 als 40 cm diepte. Links weergegeven de Torfbroekvijver en rechts Ter Bronnen.*

## 2.2 Methode staalname vissen

Op 30 maart 2015 is de Fauna-Flora vijver bevist (Figuur 1) en de Ter Bronnen vijver is op 23 april 2015 bevist (figuur 7). Vanwege de geringe diepte van beide vijvers en de dikke sliblaag op de bodem, is zowel de oever als het open water bevist met een elektrovisapparaat. Het gebruik van een zegen in het open water zou de bijzondere onderwatervegetatie in de Ter Bronnen vijver te veel beschadigen. Om de resultaten van de bevissingen goed te kunnen vergelijken is daarom in beide vijvers afgezien van het gebruik van een zegen. In beide vijvers is de oever over driemaal over de volledige lengte bevist, net als het open water. De gevangen vissen zijn op soort gebracht, gemeten (in cm totaallengte) en geteld. De hoeveelheden vis zijn omgerekend naar aantallen en kilogrammen per hectare. Het oppervlak van beide vijvers is hiervoor vastgesteld met behulp van Google Maps. Bij de omrekening is geen rekening gehouden met de vangstefficiëntie van het elektrovisapparaat, omdat deze niet bekend is voor het open water. Standaard lengte-gewicht relaties van alle vissoorten zijn gebruikt (Klein Breteler & de Laak, 2003) voor het omrekenen van aantallen vissen per cm-klasse naar biomassa.



*Figuur 7: beeld van de electrobevissing van de Fauna-Flora vijver*

### 2.3 Analyses biochemie

Aan de oppervlaktewater-, poriewater en grondwaterstalen zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- pH
- Alkaliniteit (zuurbufferend vermogen)
- Totaal opgelost anorganisch koolstof
- EGV
- Turbiditeit (alleen van het oppervlaktewater)
- Concentraties van geselecteerde ionen en elementen in oplossing

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl<sub>2</sub> elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type PHM 82). De alkaliniteit werd bepaald middels een titratie met verdund zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (kooldioxide + bicarbonaat + carbonaat) werd bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA). De EGV werd bepaald met een HACH EGV probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de oppervlaktewaterstalen werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). Na deze eerste analyses werden substalen opgeslagen bij 4°C totdat de verdere analyses op ICP en Auto-analyzer plaatsvonden.

#### *Onderwaterbodem*

Vochtpercentage, organische stofgehalte en bulk density:

Om het vochtgehalte en de bulk density te bepalen werden aluminium cups gevuld met vers bodemmateriaal en gewogen. Dit materiaal werd 48 uur gedroogd bij een temperatuur van 60 °C waarna het wederom werd gewogen. De gedroogde bodems werden vervolgens 4 uur verast bij een temperatuur van 550°C. voor de bepaling van het gloeiverlies. Na verassen werden de bodems opnieuw gewogen. Het gewichtsverlies na verassen ('loss on ignition') is een maat voor het organisch stofgehalte van de bodem. Alle bepalingen werden in tweevoud uitgevoerd. Bulk density werd bepaald als het gewicht droge bodem/volume van de veldverse bodem.

Destructie:

Door de bodem te destrueren is het mogelijk de totale gehalten van de meeste elementen in het bodem- of wortelmateriaal te bepalen. Dit is van belang om de potentiële P-nalevering van de bodems inzichtelijk te maken. Daarnaast is vooral het totale calciumgehalte belangrijk om een eerste indruk van de buffercapaciteit te krijgen. Bovendien geven destructieanalyses inzicht in de verhouding tussen ijzer en zwavel in de bodem (Fe/S ratio). Bij de bodemdestructie werd 0,2 gram gedroogde en gemalen bodem afgewogen in een teflon cup. Vervolgens werd het samen met 4 ml salpeterzuur en 1 ml waterstofperoxide in gesloten teflon cups gedestruëerd in een magnetron. Hierbij werd stapsgewijs energie toegediend waarbij alle verweerbare bodemdeeltjes oplossen. Vervolgens worden de stalen verdund tot 100 ml. Het product is bij 4°C bewaard tot analyse op ICP en Auto-analyzer.

Kalkgehalte:

Om het kalkgehalte (CO<sub>3</sub>) in de bodem te bepalen is 5 gram droog bodemmateriaal afgewogen, waar 10 ml 1 M HCl-oplossing aan is toegevoegd. Na menging en het drogen van het materiaal gedurende 24 uur bij 70°C is de bodem nogmaals gewogen. Aan de hand van de gewichtsafname kan het percentage kalk in de bodem bepaald worden.



#### C/N analyse:

Het totale gehalte aan stikstof en koolstof in een bodem werd bepaald door de bodem te verhitten tot 1800°C in een Carlo Erba CNS analyser. Alle stikstof en koolstof verbrandt hierbij en wordt in gasvorm gescheiden op een Poropak QS-kolom waarna het door een warmtegeleidbaarheidsdetector (TCD) gedetecteerd werd. Op zowel de gewone waterbodems, als de waterbodems behandeld met HCl (1 M), werd de C/N analyse uitgevoerd.

#### ICP en Auto-analyzer:

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S) als maat voor sulfaat, silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP Thermo Electron corporation IRIS Intrepid II XDL). De concentraties nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) werden colorimetrisch bepaald met een Braun en Luebbe auto-analyzer II met behulp van resp. salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride ( $\text{Cl}^-$ ) en fosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer II systeem met behulp van resp. mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur. Natrium ( $\text{Na}^+$ ) en kalium ( $\text{K}^+$ ) werden vlamfotometrisch bepaald met een Technicon Flame Photometer IV Control.



### 3. Resultaten

#### 3.1 Oppervlaktewater

De meetgegevens van het oppervlaktewater (tabel 1) laten zien dat het oppervlaktewater in alle drie de vijvers sterk gebufferd is met een alkaliniteit van 4,1-5,0 meq/l. De hoeveelheid fosfaat is overal heel erg laag. De ammoniumconcentratie is in alle drie de vijvers laag, terwijl dat ook het geval is voor nitraat in de Torfbroekvijver. Het nitraat gehalte in de waterlaag is met name in de Fauna-Flora vijver hoog (gemiddeld 430  $\mu\text{mol/l}$ ), terwijl de waarde in Ter Bronnen intermediair is (233  $\mu\text{mol/l}$ ). Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door externe toevoer via het grondwater (par. 3.2). Wat verder opvalt bij de waterchemie van de onderzochte vijvers is het hoge S (sulfaat)-gehalte van rond de 900-1000  $\mu\text{mol/l}$ . Ook dit zou kunnen komen door externe aanvoer via het grondwater. De waterlaag - boven de sliblaag – van alle drie de vijvers is helder, al is die van Ter Bronnen het meest helder. In bijlage II is een omreken tabel opgenomen van  $\mu\text{mol/l}$  naar  $\text{mg/l}$ .

Tabel 1: Gemiddelde concentraties (en st. error) van de geanalyseerde elementen in het oppervlaktewater. In bijlage III zijn de meetgegevens per bemonsterde locatie opgenomen.

	pH	Alkaliniteit <i>meq/l</i>	Turbiditeit <i>ppm</i>	EGV <i><math>\mu\text{S/cm}</math></i>	Ca	S	PO4 <i><math>\mu\text{mol/l}</math></i>	NO3	NH4	Cl
Fauna Flora <i>St error</i>	7,8 0,1	4,6 0,1	4 0,4	736 2,3	3550 37,0	1036 6,3	0,10 0,01	430 35,7	2,9 0,5	1055 2,4
Torfbroek <i>St error</i>	7,9 0,0	5,0 0,0	5 0,7	689 12,1	3222 49,9	909 33,3	0,09 0,00	15 6,8	1,0 0,6	859 29,2
Ter Bronnen <i>St error</i>	7,9 0,1	4,1 0,1	2 1,0	671 14,0	3069 72,4	1023 17,6	0,10 0,01	233 24,0	4,5 0,3	990 31,2
Westzijde Torfbr.	7,8	6,6	4	779	3810	635	0,14	17	0,6	991

### 3.2 Grondwater

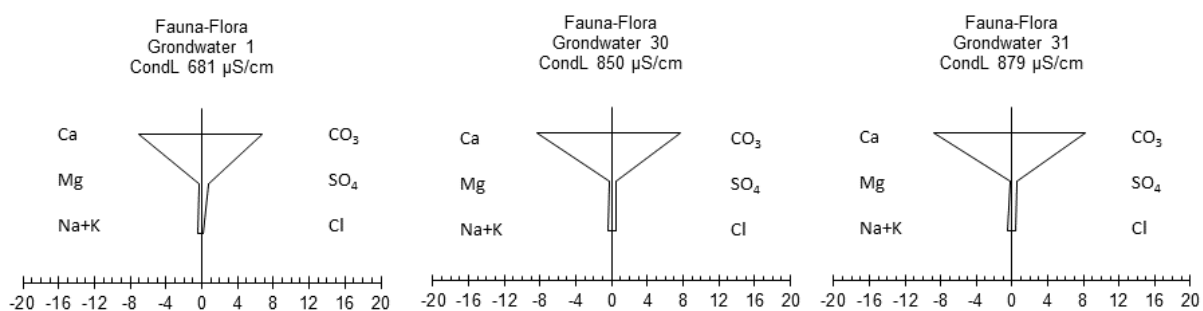
Het grondwater is op 15 locaties in het gebied bemonsterd. De gegevens zijn weergegeven in tabel 2 en ingedeeld per vijver, waarbij rekening is gehouden met de stroomrichting van het grondwater en de verschillende kwelzones, zoals gebleken is in de uitgebreide ecohydrologische studie van. Hieruit is af te leiden dat de Fauna-Flora vijver door meer lokaal grondwater vanuit de zuidkant wordt gevoed (beschreven als 'zuidelijke percelen') en de Torfbroekvijver (beschreven als 'noordelijke percelen') wordt gevoed door dieper en ouder grondwater, tevens vanuit het zuiden. Om deze reden zijn voor de Flora-Fauna vijver met name peilbuis 1, 30 en 31 van belang. Overigens staat peilbuis 1 wat hoger op de helling, waardoor deze minder indicatief is voor grondwater dat de Fauna-Flora vijver bereikt. Voor de Torfbroekvijver zijn peilbuis 7, 14 en 15 indicatief en voor de Ter Bronnen vijver zijn dat peilbuis 6, 24 en 32. De overige buizen zijn tevens in tabel 2 opgenomen, maar hiervan verwachten we weinig tot geen invloed van het grondwater op de vijvers.

Het grondwater is overal zeer sterk gebufferd; de alkaliniteit is overal hoger dan 4,5 meq/l, en op een tweetal locaties zelfs hoger dan 10 meq/l. Ook calcium is erg hoog met concentraties variërend tussen 3373 en 7857  $\mu\text{mol/l}$ . Het grondwater bevat nauwelijks ijzer en fosfor. De gemeten S-concentratie (bestaat voor meer dan 90% uit sulfaat) varieert sterk; op locatie 24 (nabij Ter Bronnen) bevat het grondwater 2195  $\mu\text{mol/l}$  S, hetgeen erg hoog is, terwijl de S-concentratie in het grondwater in de buurt van de Fauna-Flora vijver vrij laag is met gemiddelde concentratie S van 285  $\mu\text{mol/l}$ . Een hoge S-concentratie kan duiden op het oplossen van calciumsulfaaten in de bodem (gips) of oxidatie van pyriet, samen met denitrificatie van nitraat (Smolders et al., 2009). Op verschillende locaties rondom de Torfbroekvijver zijn de concentraties ook hoog (op locatie 20, 22, 28 en 29), mogelijk houdt dit verband met de aanwezige stortplaatsen. Peilbuis 12 en 20, beide gelegen aan de noordzijde van de Torfbroekvijver hebben een lagere alkaliniteit, hetgeen duidt op invloed van ander grondwater dan in de rest van het gebied. Wat verder opvalt is dat op locatie 7 de hoeveelheid S in de diepe grondwaterbuis (filterdiepte 4,80 m) meer dan 10x hoger is dan het grondwater in de ondiepe buis (filterdiepte 1,65 m). Waarschijnlijk vindt er tussen deze twee dieptes sulfaatreductie plaats, daarbij wordt bicarbonaat gevormd en stijgt de alkaliniteit van het grondwater (zie ook hoge alkaliniteit in ondiepe buis). De hoeveelheid nitraat is op enkele locaties erg hoog, vooral in de twee buizen die het meest indicatief zijn voor de Fauna-Flora vijver (30 en 31) en één grondwaterstaal bij Ter Bronnen (32); terwijl het op andere locaties nauwelijks aanwezig is in het grondwater. Chloride varieert ook sterk; slechts 87  $\mu\text{mol/l}$  in het grondwater op locatie 1, terwijl op locatie 24 (Ter Bronnen) een erg hoge concentratie van 3089  $\mu\text{mol/l}$  gemeten werd.

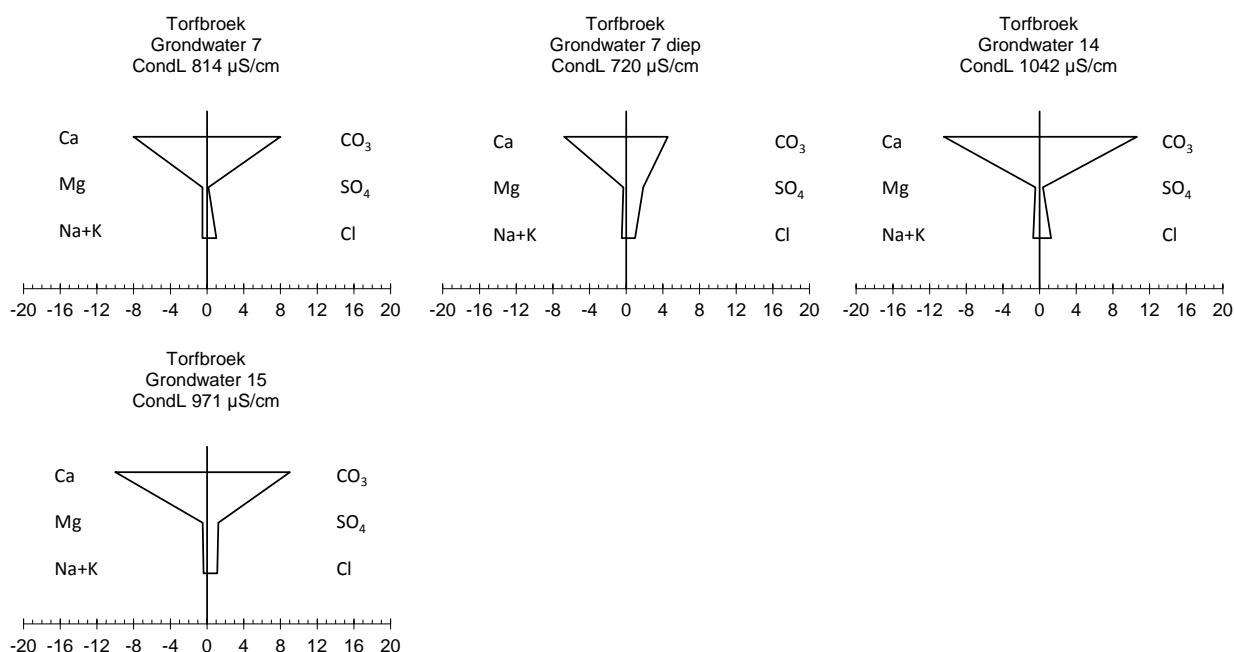
Tabel 2: Grondwaterkwaliteit op de 16 geselecteerde locaties.

Locatie	Vijver	Diepte buis	pH	Alkaliniteit	EGV	Ca	Fe	P	S	NO <sub>3</sub>	Cl
				meq/l	μS/cm						
1	Fauna Flora	2,85	7,9	7,3	681	3508	0,3	0,03	362	24,8	87
30	Fauna Flora	2,53	7,3	7,7	850	4199	0,0	0,17	253	652,7	531
31	Fauna Flora	2,49	7,3	8,2	879	4421	0,3	0,00	241	668,4	401
7	Torfbroek	1,65	7,1	8,1	814	4007	0,0	0,00	78	4,2	1021
7diep	Torfbroek	4,80	7,4	4,5	720	3373	0,0	0,00	930	118,8	962
14	Torfbroek	1,53	6,9	10,6	1042	5212	1,4	0,00	179	3,1	1247
15	Torfbroek	1,28	6,9	8,8	971	4993	0,4	0,00	615	2,3	1101
6	Ter Bronnen	1,30	7,2	8,7	871	4077	0,0	0,00	311	9,1	944
24	Ter Bronnen	1,41	7,3	12,3	1705	7857	0,2	0,00	2195	2,1	3089
32	Ter Bronnen	1,85	7,2	8,7	983	4983	8,4	0,34	733	620,7	1451
12	Noordzijde Fauna-Flora	1,50	7,4	5,7	732	3635	0,1	0,00	753	55,4	891
20	Noordzijde Torfbroek	1,40	7,6	5,8	751	3668	0,1	0,00	1235	78,4	880
21	Oostzijde Torfbroek	1,17	7,1	8,0	906	4426	0,2	0,00	703	1,8	1225
22	Oostzijde Torfbroek	1,14	7,0	7,6	936	4391	0,1	0,04	1036	2,6	1277
28	Grasveld bij P-plaats	1,65	7,3	7,8	998	5150	0,1	0,10	1448	6,2	877
29	Oostzijde Torfbroek	1,91	7,2	9,1	1191	5225	0,1	0,00	1658	7,9	1457

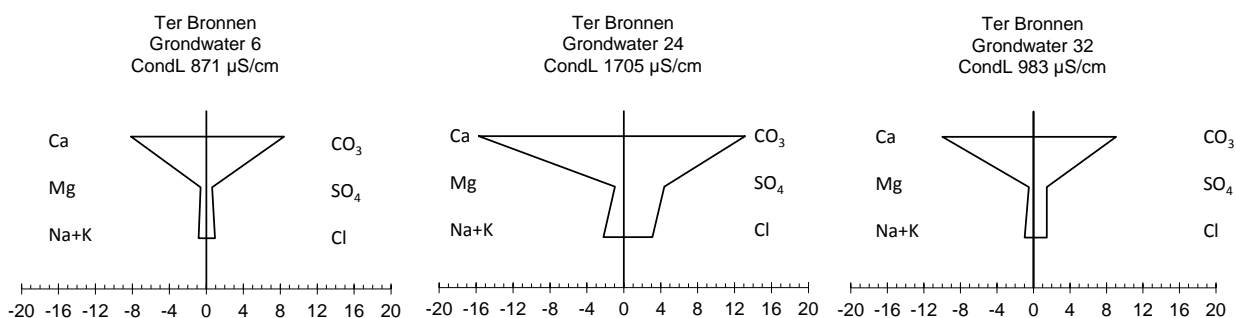
In figuur 8, 9 en 10 zijn de stiff-diagrammen van het grondwater weergegeven, gegroepeerd per vijver. De stiff-diagrammen van de overige locaties zijn weergegeven in bijlage IV. Het wordt direct duidelijk dat het grondwater op alle locaties sterk aangerijkt is met calcium en bicarbonaat. Dit is zeer duidelijk grondwater van het calciumbicarbonaat-type. Dit type wordt gekenmerkt door een hoge hardheid als gevolg van het oplossen van kalk. Het is het eindproduct van geïnfiltreerd regenwater in kalkrijke bodems (hier kalkrijk zanden). Het wordt ook wel lithoclien grondwater genoemd; gerijpt grondwater. Door bodempassage verrijkt met m.n. calcium en bicarbonaat. Bij de Fauna-Flora vijver zijn de diagrammen aan de onderzijde zeer smal, wijzend op weinig sulfaat, chloride, magnesium, natrium en kalium± kortom zeer schoon grondwater wat dit betreft (maar voor nitraat, zie eerder). Bij enkele locaties bij de Torfbroekvijver is de vorm onderin het diagram anders. Op deze locaties is meer sulfaat aanwezig in het grondwater, en soms ook wat meer chloride of natrium/kalium. Dit wijst op verontreiniging van het grondwater. Bij Ter Bronnen is met name de vorm van het stiffdiagram van grondwaterbuis 24 afwijkend van de rest. Er is meer calcium en bicarbonaat, maar ook meer chloride en S.



Figuur 8: De stiffdiagrammen van grondwaterlocatie 1, 30 en 31, gelegen rondom de Fauna-Flora vijver.

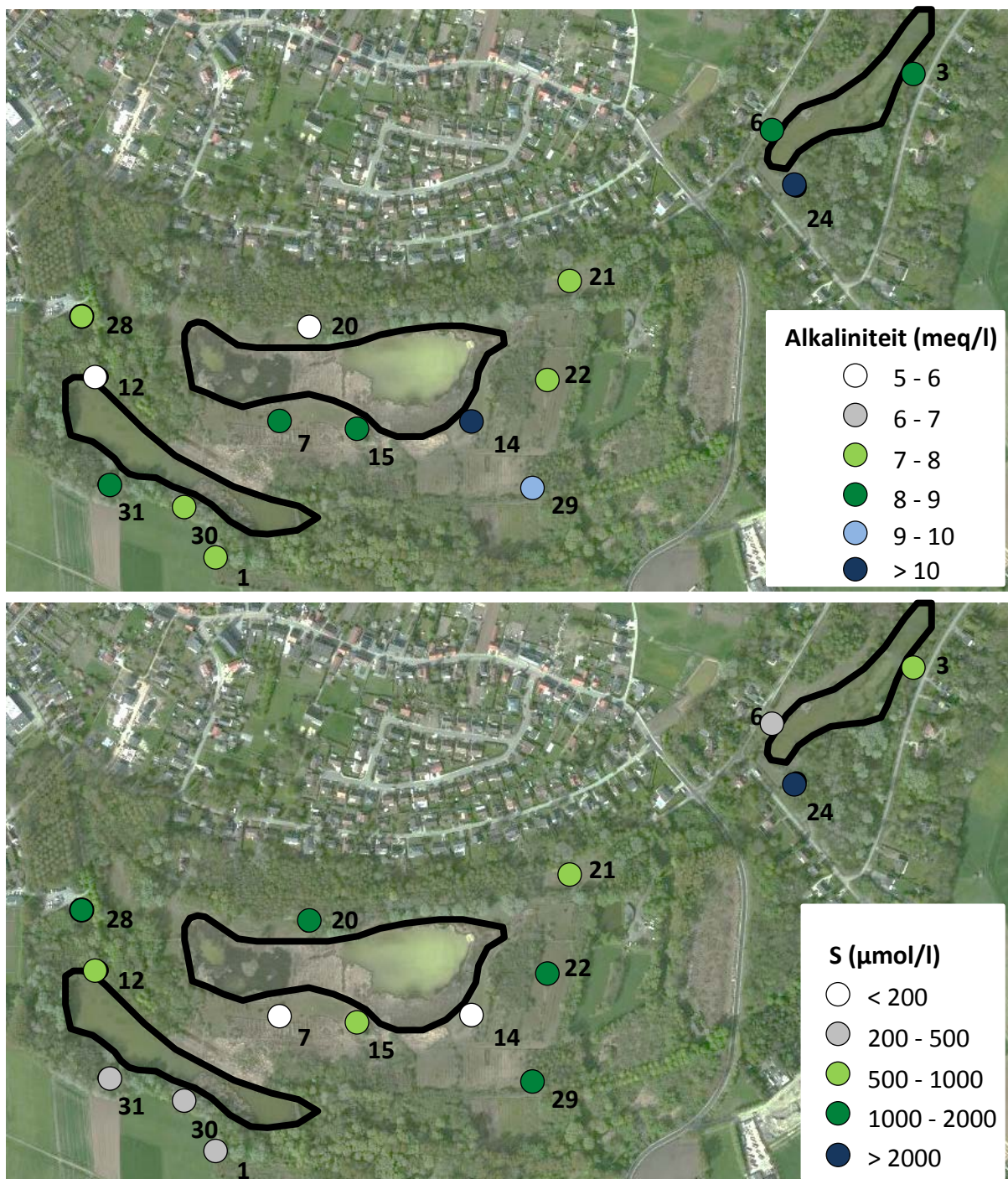


Figuur 9: De stijfheidsdiagrammen van grondwaterlocatie 7, 14, en 15, allen gelegen rondom de Torfbroekvijver.



Figuur 10: De stijfheidsdiagrammen van grondwaterlocatie 6, 24 en 32, allen gelegen rondom de Ter Bronnen vijver.

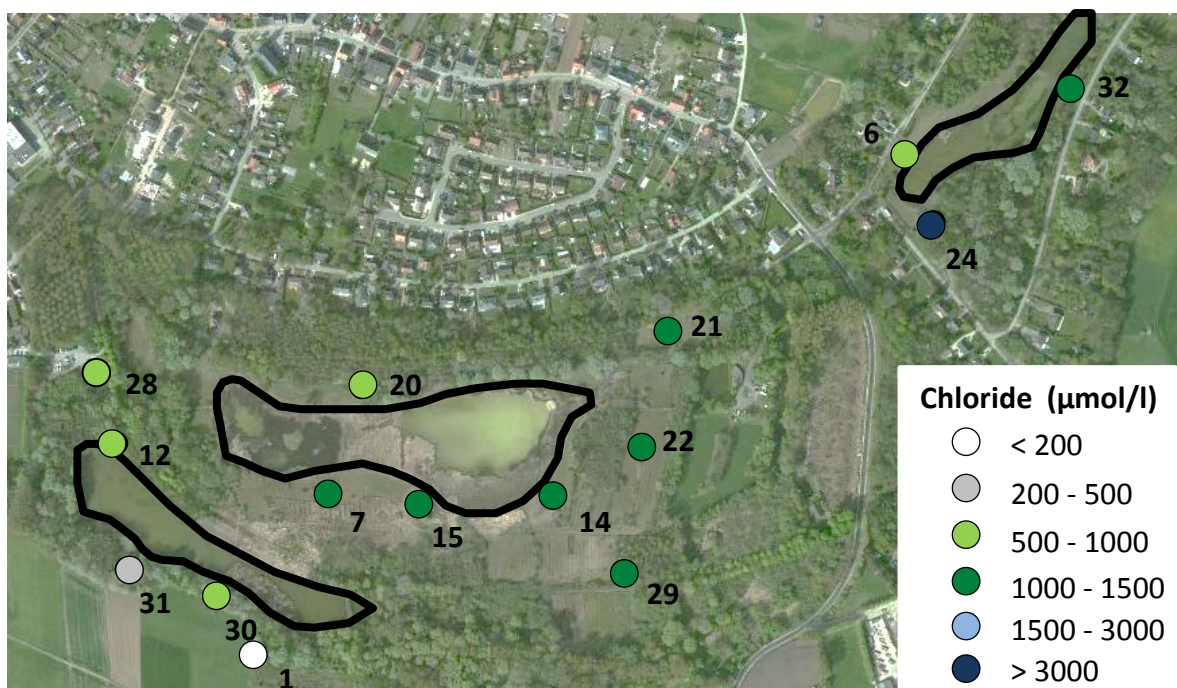
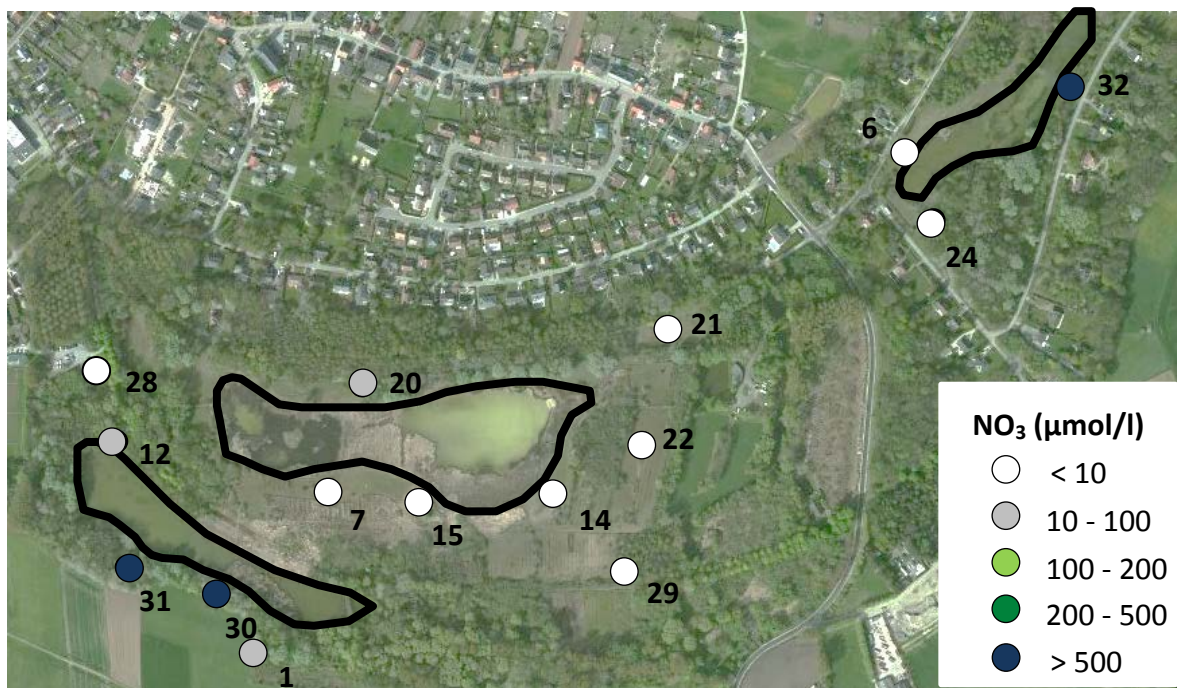
Als er gekeken wordt naar de ruimtelijke spreiding van de kwaliteit van het grondwater, valt op dat plaatselijk de alkaliniteit op kan lopen tot zeer hoge waarden (> 10 meq/l op locatie 14 en 24, zie figuur 11). Dus zowel de Torfbroekvijver als de Ter Bronnen vijver wordt beïnvloedt door grondwater met een zeer hoge hardheid. Het grondwater dat de Fauna-Flora vijver beïnvloedt (1, 30 en 31) is ook gebufferd, maar iets minder sterk. Overigens is een alkaliniteit van 5 meq/l ook al hoog; het hele systeem is sterk gebufferd. Locatie 29 heeft ook een zeer hoge alkaliniteit; deze locatie wordt mogelijk beïnvloedt door de voormalige stort die ten zuiden van deze locatie gelegen is. De locaties met een hoge alkaliniteit, bevatten ook veel S, evenals twee buizen aan de noordzijde van Torfbroek (20 en 28). Opvallend is de lage S-concentratie aan de zuidzijde van de Fauna-Flora vijver, hetgeen te verklaren is doordat het jonger grondwater, van een kortere afstand. Daarnaast stroomt het mogelijk niet door een bodemlaag met ijzersulfide, waardoor de S-concentratie laag is. Een concentratie hoger dan 500 µmol/l S kan als hoog worden beschouwd. De S-concentratie in het grondwater kan worden beïnvloedt door nitraat dat uit landbouwgebied uitspoelt. Het nitraat zorgt voor oxidatie van ijzersulfiden, waardoor het grondwater plaatselijk sterk verrijkt wordt met S, en nitraat verdwijnt (o.a. Postma et al. 1991; Aravena & Robertson 1998; Smolders et al., 2010).



Figuur 11: De alkaliniteit (boven) en de concentratie S (beneden) van het grondwater.

De concentratie nitraat is over het algemeen niet erg hoog (zie witte en grijze stippen in figuur 12). Op enkele locaties is echter een zeer sterke verhoging van nitraat gemeten (hoger dan 500  $\mu\text{mol/l}$ , locatie 30, 31 en 32). Deze sterk verhoogde concentraties worden vermoedelijke veroorzaakt door het nabij gelegen landbouwgebied ten zuiden van het gebied. De Fauna-Flora vijver evenals de Ter Bronnen vijver (vanuit 1 locatie) zal vermoedelijk nadelig beïnvloedt worden door het nitraatrijke grondwater in de directe omgeving. Dit effect is ook zichtbaar aan de hoge nitraatconcentratie van het oppervlaktewater van beide vijvers. De hoeveelheid chloride in het oudere grondwater (locatie 7, 14 en 15) is hoger dan het jongere grondwater (locatie 1, 30 en 31). Daarnaast springt locatie 24 eruit met een extreem hoge chloride concentratie.





Figuur 12: De concentratie nitraat (boven) en chloride (beneden) van het grondwater.



### 3.3 Waterbodem

De dikste sliblaag is aangetroffen in de Torfbroekvijver: wat meer naar de rand van de vijver soms wel 70 centimeter dik, centraal in de plas ligt 15-25 cm slib. Het heeft een grijsgele kleur en is bovenin zeer licht materiaal en wervelt snel op. In de Fauna-Flora vijver was de sliblaag 20-30 cm dik, in de Ter Bronnen vijver circa 15-30 cm dik (op de door ons bezochte locaties). In de Ter Bronnen en Fauna-Flora vijver heeft het slib een minder gele kleur, vooral grijs gekleurd. In de Torfbroekvijver (in de buurt van locatie 7) zijn paarse vlokken in de sliblaag geconstateerd (zie figuur 13). Dit zijn vermoedelijk purperzwavelbacteriën, die zonder zuurstof en onder invloed van licht, sulfide oxideren tot elementair zwavel. De gele kleur van de toplaag van de waterbodem kan tevens duiden op neerslag van zwavel, al zou de S-concentratie van het slib dan misschien hoger moeten zijn dan nu gemeten is.



*Figuur 13: paarse/roze vlokken in de onderwaterbodem van de Torfbroekvijver*

De sliblaag in de vijvers heeft een vochtgehalte variërend van 59,7 % in Ter Bronnen tot 81,7 % in de Torfbroekvijver (tabel 3). Het organisch stof gehalte (door middel van gloeiverlies) is het hoogst in het slib in de Torfbroekvijver (14,7%). De vastere waterbodem bevat circa 50% minder organisch stof dan het slib erboven. De hoeveelheid calciumcarbonaten in de sliblaag is gemiddeld iets hoger dan de vaste bodem (behalve in Ter Bronnen, daar is het dezelfde hoeveelheid). De hoeveelheid organisch C daarentegen, is hoger in de vaste bodem. Soms twee keer zo hoog dan in de sliblaag, het verschil is kleiner in de Torfbroekvijver. De hoeveelheid aluminium, ijzer en fosfor zijn structureel hoger in de vaste bodem dan in de sliblaag in alle vijvers. Fosfaat is relatief laag ( $< 10$  mmol/l verse bodem), in vergelijking tot bijvoorbeeld P-gehalten in een grote dataset onderwaterbodems verzameld in het onderzoek Baggernut (Poelen et al., 2012). In de Torfbroekvijver bevat de vaste bodem een hogere concentratie calcium dan de sliblaag; in de andere vijvers is dit andersom, dat is opvallend. De hoeveelheid ijzer is niet erg hoog in de bodem, maar de hoeveelheid fosfor is ook niet problematisch hoog. In plaats van vastlegging door ijzer zal er in dit systeem veel P geïmmobiliseerd worden door het hoge calciumgehalte van het sediment. Belangrijk is de verhouding tussen ijzer en S in de waterbodem. Deze ratio is belangrijk omdat deze invloed heeft op de mobiliteit van ijzer en soms ook op fosfor in onderwaterbodem. In S-rijke onderwaterbodems is vaak een belangrijk deel van het aanwezige ijzer gebonden aan gereduceerd S (sulfide), waardoor het niet meer mobiel is. Dit komt omdat onder anaërobe omstandigheden sulfaat wordt omgezet naar sulfide. Wanneer er geen of weinig vrij ijzer meer beschikbaar is kan er ook nog maar weinig sulfide gebonden worden aan gereduceerd ijzer waardoor het sulfide kan ophopen tot toxische concentraties. Daarnaast zal wanneer het meeste ijzer gebonden is aan sulfide ook de immobilisatie van fosfor in de bodem

minder goed verlopen waardoor ook de fosforconcentraties in het poriewater kunnen toenemen. Om deze redenen is een Fe/S ratio hoger dan 1 gunstig (een overmaat aan ijzer) en lager dan 1 ongunstig. De vaste waterbodem is meestal gunstiger dan de sliblaag (behalve in het geïsoleerde gedeelte aan de westzijde van de Torfbroekvijver). De sliblaag van zowel de Torfbroekvijver als de Ter Bronnen vijver heeft een Fe/S ratio lager dan 1, hetgeen dus ongunstig is. Dit sluit ook aan bij de aanwezigheid van de purperzwavel bacteriën. De Fauna-Flora vijver is in dit perspectief het meest gunstig; de sliblaag heeft een Fe/S ratio van 2,2 en de vaste bodem een ratio van 9,7. Als het slib hier verwijderd zou worden, wordt de Fe/S ratio van de waterbodem dus hoger, hetgeen gunstig is.

*Tabel 3: Gemiddelde concentraties (en st. error) in de waterbodem, waarbij de sliblaag en de vaste bodem apart zijn weergegeven. (\*niet definitieve waarden, moeten nog een extra keer geverifieerd worden). In bijlage V zijn de niet-gemiddelde waarden opgenomen.*

	Vocht %	Bulk density kg Dw/l FW	Org. stof %	Al	Ca	Fe	P	S	Fe/S mol/ mol
Fauna Flora slib	62,7	0,48	6,5	79,6	1309	50,7	4,5	29,5	2,2
St error	2,8	0,0	0,7	9,1	142,5	5,7	0,4	9,7	0,6
Fauna Flora vast	25,5	1,37	1,5	183,2	1255	125,7	8,3	15,3	9,7
St error	3,0	0,1	0,2	14,4	99,2	13,2	0,4	3,6	2,6
Torfbroek slib	81,7	0,20	14,7	32,0	1013	52,3	2,0	96,4	0,5
St error	4,4	0,1	2,2	12,9	178,9	32,9	0,4	60,6	0,1
Torfbroek vast	46,7	0,80	7,9	213,2	1585	230,8	7,5	269,5	1,0
St error	6,8	0,1	2,4	46,2	210,4	71,8	2,1	118,0	0,1
Ter Bronnen slib	59,7	0,55	5,3	54,6	2214	40,8	2,8	46,7	0,9
St error	3,3	0,1	0,2	2,0	591,9	3,2	0,7	2,3	0,1
Ter Bronnen vast	23,8	1,42	1,3	162,8	928	136,3	7,4	46,8	5,0
St error	2,5	0,1	0,5	46,6	450,7	18,5	2,9	18,6	2,7
Westzijde Torfbr. slib	64,8	0,45	5,5	74,6	1722	52,6	3,1	17,7	3,0
Westzijde Torfbr. vast	29,9	1,15	3,4	322,6	826	254,8	10,8	137,4	1,9

Behalve de totaalconcentraties in de bodem is, in het kader van de uitwisseling tussen bodem en waterlaag, de poriewaterkwaliteit ook zeer belangrijk (tabel 4). Het poriewater is behoorlijk sterk gebufferd, te zien aan een hoge alkaliniteit (overall hoger dan 3,9 meq/l) en erg hoge calciumconcentraties. Wat direct opvalt is dat het poriewater extreem weinig ijzer en fosfor bevat, zowel de vaste bodem als de sliblaag die erboven ligt. De mobilisatie van fosfor vanuit de waterbodem richting de waterlaag zal dus zeer gering zijn. Eventueel vrijkomend fosfaat kan worden geïmmobiliseerd door de vorming van calciumfosfaten, waardoor fosfor in dit systeem geen belangrijke rol speelt. De concentratie nitraat in de waterbodem van de Fauna-Flora vijver is zeer hoog. Deze nitraatconcentraties zijn duidelijk in verband te brengen met het hoge nitraatgehalte van het grondwater direct ten zuiden van deze vijver, al zijn de concentraties in het poriewater nog twee keer hoger dan de gemeten grondwaterconcentraties. Ook de concentratie nitraat in het geïsoleerde gedeelte aan de westzijde van de Torfbroekvijver is hoog. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de denitrificatie niet goed verloopt, waardoor nitraat kan ophopen. De overig locaties hebben weinig nitraat in het poriewater van de onderwaterbodem. De locatie met een hoog nitraatgehalte in het grondwater nabij de Ter Bronnen vijver, heeft klaarblijkelijk geen effect op het poriewater van de waterbodem. Een hoge nitraat- en/of S-concentratie in het poriewater duidt op forse aanvoer van nitraat in het (diepe) grondwater. Daar waar het nitraat volledig gedenitrificeerd is (en dus lage

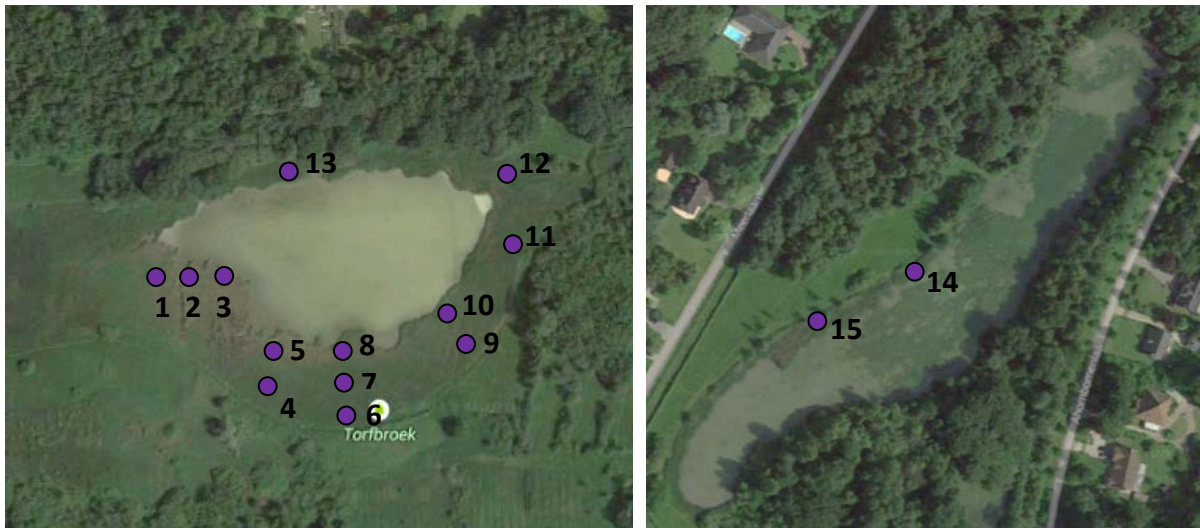
waarden worden gemeten), kan sulfaatreductie plaatsvinden, waarbij sulfide wordt gevormd. Het is zeer positief dat de fosfor beschikbaarheid laag is, maar anderzijds kan er wel (lokaal) sulfide ophoping plaatsvinden, dat een toxisch effect heeft op sommige waterplanten. Tevens is hoge nitraatbelasting van het oppervlaktewater een gevolg van de inspoeling van stoffen vanuit de landbouw. Overigens hoeft het hoge sulfaatgehalte niet altijd van negatieve invloed te zijn op kalkmoerassen (zoals eerder wel gedacht werd). Cirkel & van Beek (2012) beschrijven dat het niet altijd negatieve gevolgen heeft, maar concluderen wel dat er genoeg reactief ijzer beschikbaar moet zijn in het systeem. Dat is in dit gebied duidelijk niet het geval, waardoor S (evenals nitraat) toch wel een bedreiging vormen.

*Tabel 4: Gemiddelde concentraties (en st. error) van het poriewater van de waterbodem, waarbij de sliblaag en de vaste bodem apart zijn weergegeven. In bijlage VI zijn de niet-gemiddelde waarden opgenomen.*

	pH	Alkaliniteit <i>meq/l</i>	EGV <i>μS/cm</i>	Ca	Fe	K	P	S	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Flora Fauna slib	7,3	5,2	848,0	3940	0,1	29,5	0,4	1105,2	1279,1	2,3
St error	0,0	0,0	32,0	138,5	0,0	3,9	0,1	52,3	285,3	1,0
Flora Fauna vast	7,3	4,8	839,5	3894	0,0	32,2	0,3	1209,6	1275,9	1,4
St error	0,0	0,1	22,5	126,4	0,0	6,3	0,2	88,1	175,8	0,5
Torfbroek slib	7,5	5,4	751,8	3478	2,4	28,9	1,2	1263,5	77,3	28,7
St error	0,0	0,2	80,3	432,9	2,1	7,1	1,1	309,5	76,9	11,2
Torfbroek vast	7,5	5,2	694,0	3212	0,8	36,0	0,6	1069,6	3,9	10,8
St error	0,1	0,1	48,5	285,5	0,2	7,4	0,2	221,6	3,7	6,7
Ter Bronnen slib	7,6	4,6	608,7	2611	1,3	54,3	1,9	852,5	0,2	61,5
St error	0,1	0,4	78,7	355,1	0,5	10,8	1,4	199,8	0,1	24,9
Ter Bronnen vast	7,7	3,9	652,0	2831	2,5	101,5	1,1	1514,2	2,5	18,7
St error	0,0	0,3	176,9	810,7	1,3	63,6	0,5	888,5	2,2	7,7
Westzijde Torfbr. slib	7,3	4,7	805,0	3713	0,1	23,8	0,0	1265,4	853,0	0,5
Westzijde Torfbr. vast	7,4	4,6	795,0	3675	0,4	42,1	0,1	1556,9	336,8	0,7

### 3.4 Poriewater verlandingszone

In het rietverlandingsgedeelte van de Torfbroekvijver en op twee aanvullende rietlocaties in de oeverzone van Ter Bronnen zijn poriewatermonsters verzameld van 20 en 40 cm in de oever (zie figuur 14 voor de ligging van de locaties). De gemiddelde meetgegevens per locatie zijn weergegeven in tabel 5. Het valt op dat in de raai van locatie 1, 2 en 3, het zwavel en nitraatgehalte sterk afneemt naarmate de locatie dicht bij het open water van de vijver ligt. Of dit echt door de ligging ten opzichte van de vijver komt is onduidelijk, zeker aangezien de raai van locatie 6, 7 & 8 niet hetzelfde beeld laat zien. De twee bemonsterde locaties bij de Ter Bronnen vijver hebben een veel lagere alkaliniteit, zwavel en chloride concentratie dan de bemonsterde locaties rondom de Torfbroekvijver.



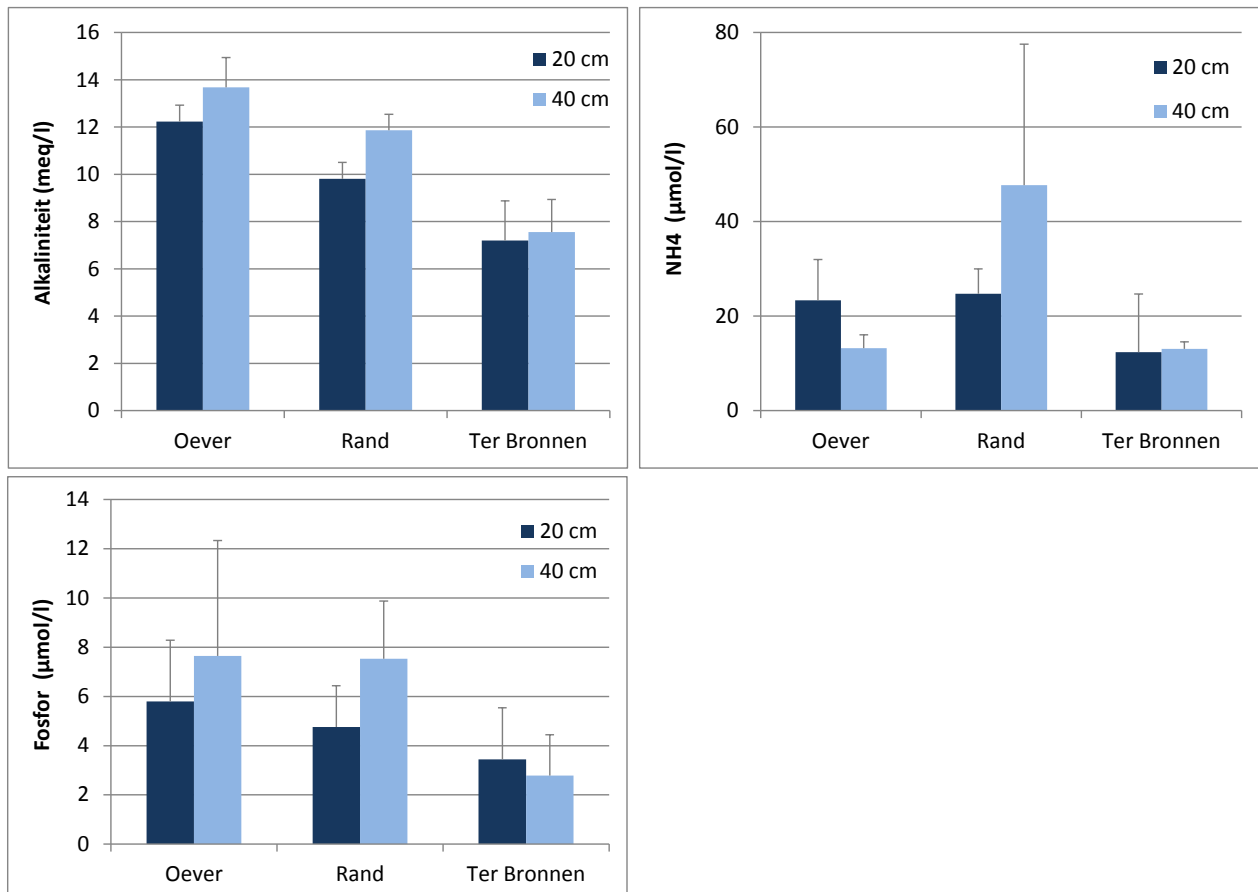
Figuur 14: de locaties van poriewateranalyse, waarbij steeds een staal werd verzameld op zowel 20 als 40 cm diepte. Links weergegeven de Torfbroekvijver en rechts Ter Bronnen.

De resultaten zijn zeer wisselend en er is ook niet altijd een consequent verschil tussen de meting op 20 en op 40 cm diepte. De alkaliniteit is meestal hoger in de diepere monsters (zie figuur 15). De locaties aan de rand van de verlanding hebben een iets lagere alkaliniteit dan de locaties aan de oever. Dit zou verklaard kunnen worden doordat het een jonger stadium van verlanding is. De locaties bij Ter Bronnen hebben een nog lagere alkaliniteit, dit is vermoedelijk ook een relatief jonge rietzone. Er zijn wat locaties met versnelde mineralisatie van de bodem (voornamelijk bestaand uit plantenresten), af te lezen aan de verhoogde ammoniumconcentratie (zie locatie 8 en 9). Hier is geen logisch ruimtelijk patroon uit af te leiden. Locatie 8 en 9 hebben tevens een hogere P-concentratie dan de overige locaties. Verder is op locatie 1 en 2 een hoge nitraatconcentratie gemeten (in het ondiepe monster), terwijl de overige locaties allemaal een zeer lage nitraatconcentratie bevatten. Ook op locatie 14 bij Ter Bronnen is nitraat wat verhoogd. Op deze drie locaties uitgezonderd is verder overal ammonium de dominante stikstofvorm.

De algemene trofiegraad in het riet is duidelijk hoger dan het oppervlaktewater en de waterbodem (voor zowel N als P). Dit is te verwachten in een soortenarme rietverlandingszone. De Torfbroekvijver zal, als er niet wordt ingegrepen, vermoedelijk binnen enkele decennia geheel dichtgroeien. De successie van het riet in de Torfbroekvijver is sinds de jaren '70 heel snel gegaan (Van Uytvanck et al., 2013) en dit zal niet zomaar veranderen zonder in te grijpen.

Tabel 5: De gemiddelde waarden (van 20 en 40 cm diepte) gemeten in de poriewater in de verlandingszone rondom de Torfbroekvijver en twee locaties bij de Ter Bronnen vijver (14 en 15). In bijlage VII zijn de niet-gemiddelde waarden opgenomen.

Locatie	Vijver	pH	Alk. meq/l	EGV μS/cm	Ca	Fe	K	P	S	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	Cl
									μmol/l			
1	Torfbroek	7,3	11,1	1131	5528	6,7	120,9	5,5	623,3	117,0	39,9	1739,2
		0,3	0,8	74	24	6,0	77,2	0,4	185,8	115,4	4,2	396,0
2	Torfbroek	7,1	12,0	1121	5771	4,9	85,6	3,8	329,0	41,9	18,1	1462,5
		0,1	0,1	41	82	4,2	40,3	0,8	92,5	41,4	4,2	155,9
3	Torfbroek	7,3	12,8	1124	5707	4,0	108,3	4,3	284,1	1,2	11,0	1206,3
		0,3	0,4	27	133	0,2	9,8	0,5	1,1	0,6	1,2	118,2
4	Torfbroek	7,4	8,1	783	3862	7,4	90,9	4,5	290,3	0,8	19,6	1085,6
		0,3	1,1	109	556	0,9	31,6	0,7	33,0	0,7	1,2	116,9
5	Torfbroek	7,1	9,9	1039	5124	6,2	50,8	2,5	640,2	0,2	13,9	1624,0
		0,1	0,2	10	109	0,3	6,4	0,8	56,8	0,2	2,1	75,7
6	Torfbroek	7,1	9,8	990	4760	6,1	100,5	3,8	326,5	0,1	24,7	1516,8
		0,0	1,4	115	611	5,3	55,9	1,4	18,1	0,1	15,9	218,0
7	Torfbroek	6,9	12,2	1171	5515	7,0	39,8	1,3	149,6	1,2	8,7	1720,1
		0,1	0,1	1	114	0,8	8,0	0,5	26,5	1,1	2,0	65,3
8	Torfbroek	7,5	15,6	1446	5605	5,0	258,9	20,8	447,8	1,6	2778,5	1798,5
		0,3	1,9	79	480	2,9	64,7	5,5	122,9	1,3	2024,5	12,2
9	Torfbroek	7,0	11,5	1257	6074	4,6	59,8	15,2	953,7	0,1	111,9	2756,9
		0,1	0,4	41	106	0,8	10,2	2,6	70,9	0,1	82,4	51,5
10	Torfbroek	7,2	14,0	1368	6588	2,0	104,6	1,5	248,9	0,1	35,3	2211,6
		0,0	0,4	37	281	1,3	6,5	0,1	42,8	0,0	13,8	128,4
11	Torfbroek	7,2	12,1	1250	5767	1,3	73,5	1,5	530,2	0,1	13,8	2360,6
		0,0	1,2	124	555	0,8	5,4	0,0	46,3	0,0	1,4	209,5
12	Torfbroek	7,0	12,5	1259	6244	6,2	73,1	6,3	343,2	0,0	7,4	2389,2
		0,0	1,2	113	538	4,9	17,5	4,0	97,1	0,1	0,8	146,7
13	Torfbroek	7,2	12,5	1137	5343	3,9	86,9	4,5	279,0	0,0	12,8	1342,2
		0,0	1,1	74	124	3,5	10,3	1,1	45,6	0,1	3,2	87,6
14	TerBronnen	7,3	5,9	620	2821	2,7	74,4	5,0	436,5	59,6	7,1	795,3
		0,1	0,3	32	181	0,5	3,6	0,5	0,3	31,0	7,5	57,2
15	TerBronnen	7,0	8,9	780	3817	0,6	93,1	1,2	82,1	2,2	18,1	507,0
		0,0	0,0	4	25	0,2	23,8	0,1	22,0	1,5	6,6	8,3



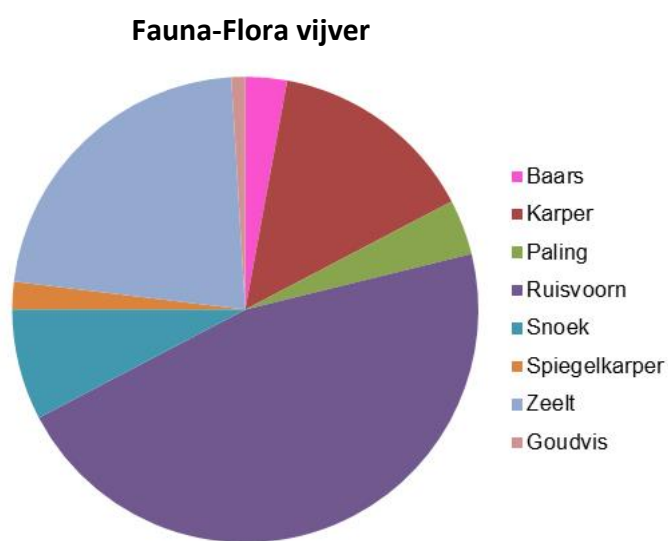
*Figuur 15: De gemiddelde alkaliniteit (links) en ammoniumconcentratie (rechts) en fosforconcentratie (beneden) van diverse oeverlocaties en randlocaties bij de Torfbroekvijver en de gemiddelde waarde van de Ter Bronnen locaties (inclusief st. error). Hierbij is locatie 3, 5, 8, 10 en 13 gemiddeld voor de 'Oever' en locatie 1, 4, 6, 9, 11 en 12 gemiddeld voor 'Rand'. Bij ammonium is locatie 8 weggelaten omdat het een extreme uitbijter is.*

### 3.5 Visstand

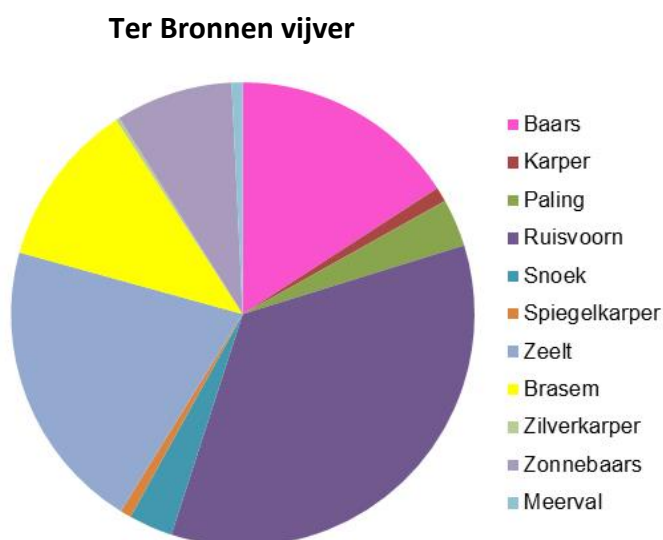
In totaal zijn in de Fauna-Flora vijver 104 vissen gevangen en in de Ter Bronnen vijver 393 vissen. Aangezien de Ter Bronnen vijver (1.2 ha) kleiner is dan de Fauna-Flora vijver (1.5 ha) is de visdichtheid aanzienlijk hoger (ca. 4x) dan in de Ter Bronnen vijver.

In totaal zijn 8 vissoorten gevangen in de Fauna-Flora vijver en 11 vissoorten in de Ter Bronnen vijver (Figuur 16 en 17). Vijf vissoorten zijn slechts in één van beide vijvers aangetroffen: de goudvis (Fauna-Flora vijver) en de zilverkarper, brasem, meerval en zonnebaars (Ter Bronnen) (Bijlage VIII).

In de Fauna-Flora vijver bestaat de vispopulatie qua aantallen voornamelijk uit ruisvoorn (46%), zeelt (22%) en karper (14%) (Figuur 2). Ook in de Ter Bronnen vijver bestaat de populatie voor het grootste gedeelte uit ruisvoorn (53%) en zeelt (31%), gevolgd door baars (24%) (Figuur 17).

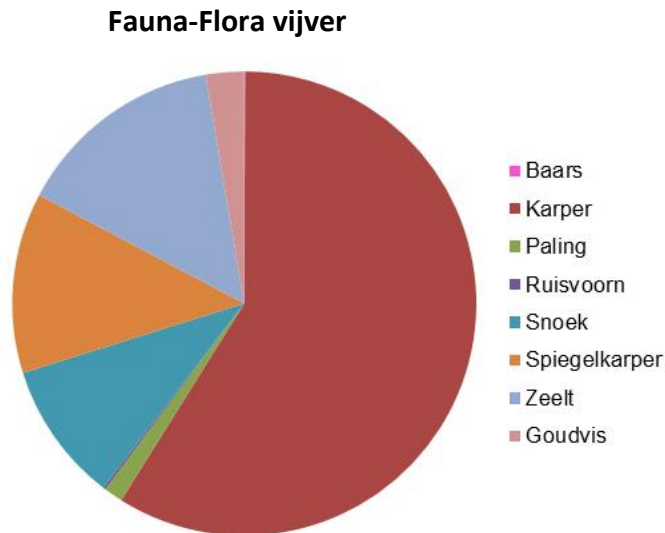


Figuur 16. Relatieve aantalsverdeling visvangst Fauna-Flora vijver.

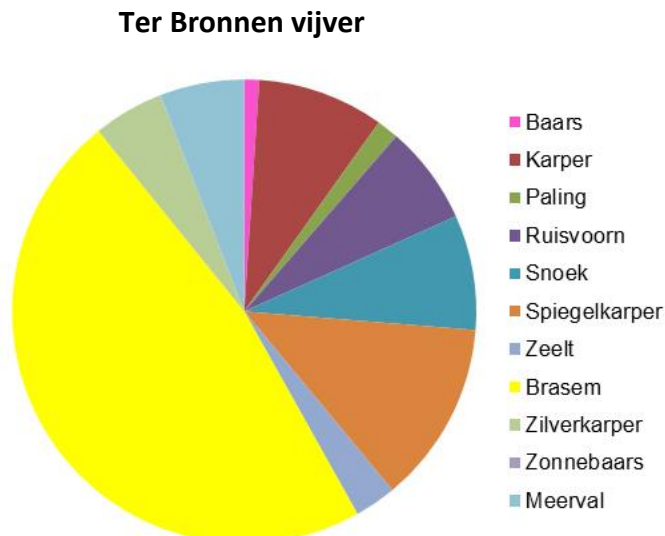


Figuur 17. Relatieve aantalsverdeling visvangst Ter Bronnen vijver.

Qua gewicht bestaat de vispopulatie in de Fauna-Flora vijver voornamelijk uit karper 58%, spiegelkarper (12%) en zeelt (14%) (Figuur 18). In de Ter Bronnen vijver vertegenwoordigen brasem 47% en karperachtigen (26%) het grootste deel van de vispopulatie (Figuur 19).



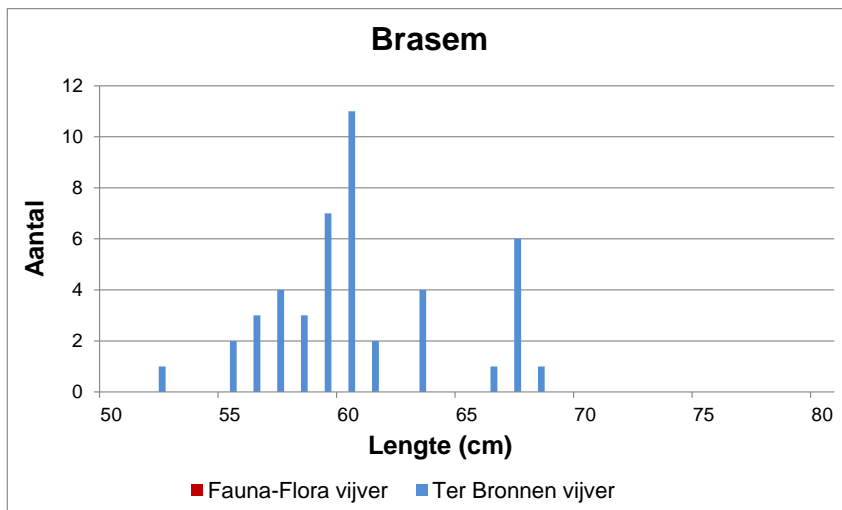
Figuur 18. Relatieve gewichtsverdeling visvangst Fauna-Flora vijver.



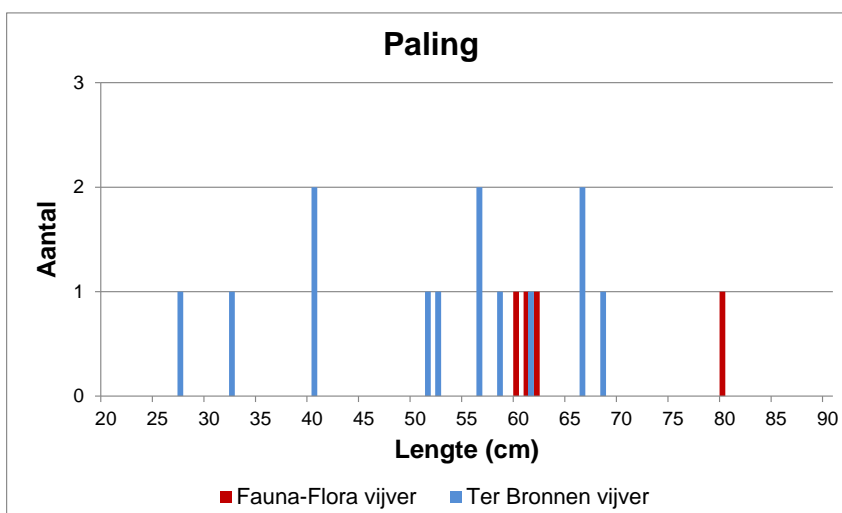
Figuur 19. Relatieve gewichtsverdeling visvangst Ter Bronnen vijver.

Uit de lengtefrequentieverdelingen van de individuele vissoorten blijkt dat in beide vijvers van een groot aantal vissoorten alleen oudere jaarklassen aanwezig zijn. Het gaat om de (spiegel/zilver)karper, paling, brasem, meerval en de goudvis (Bijlage VIII en Figuur 20 t/m 22). Waarschijnlijk zijn deze vissen in het verleden uitgezet in de vijvers en zullen ze uiteindelijk vanzelf uit de vijvers verdwijnen (mits geen nieuwe exemplaren worden uitgezet). De belangrijkste soorten die overblijven zijn de zeelt, ruisvoorn, baars en de snoek.

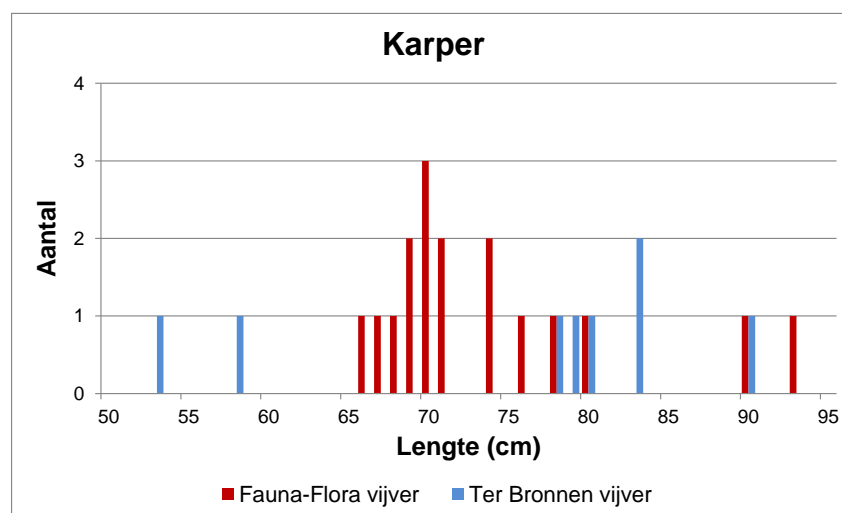




Figuur 20. Lengtefrequentieverdeling van de brasem in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver.

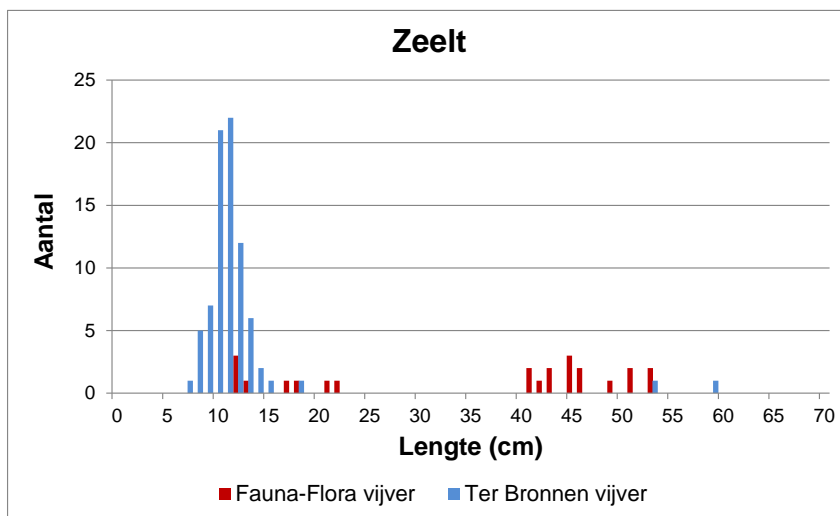


Figuur 21. Lengtefrequentieverdeling van de paling in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver.

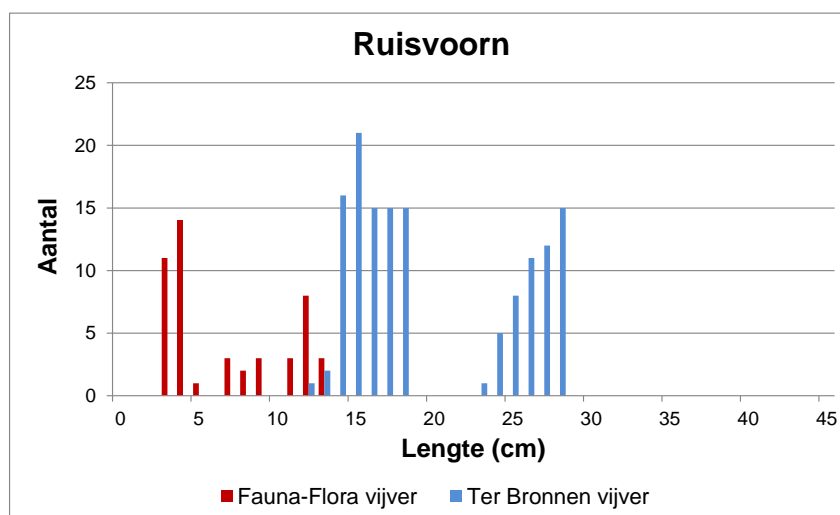


Figuur 22. Lengtefrequentieverdeling van de karper in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver.

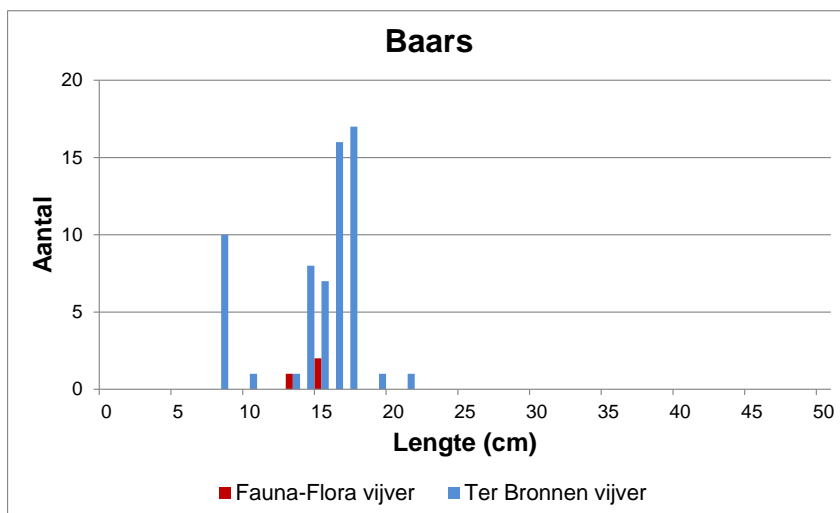
Er bestaan verschillen in de populatie opbouw van de zeelt tussen de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver (Figuur 23). In de Ter Bronnen vijver zien we relatief veel jongere vis en nauwelijks vis in de oudere jaarklassen. In de Fauna-Flora vijver valt op dat de jongste vis en het middensegment ontbreekt. Opvallend is dat het beeld voor de ruisvoorn omgekeerd lijkt te zijn aan dat van de zeelt met vooral jongere vis in de Fauna-Flora vijver en oudere jaarklassen in de Ter Bronnen vijver (Figuur 24). In de Fauna-Flora vijver zijn nauwelijks baarzen aangetroffen, terwijl in de Ter Bronnen vijver hoofdzakelijk jongere baarzen zijn aangetroffen (slechts 2 vissen groter dan 18 cm) (Figuur 25). Wel moet worden opgemerkt dat in dit onderzoek geen exacte leeftijdsbepaling is uitgevoerd, waardoor het lastig is om harde uitspraken te doen over de leeftijdsopbouw van de populaties.



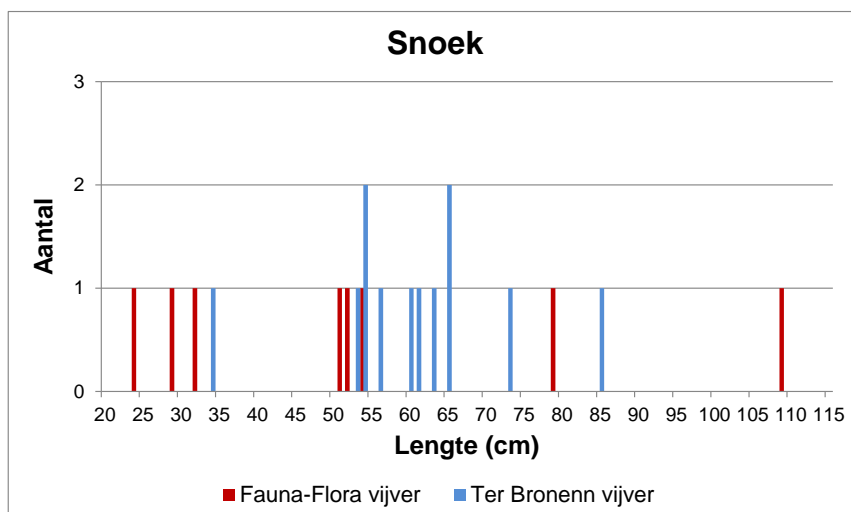
Figuur 23. Lengtefrequentieverdeling van de zeelt in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver.



Figuur 24. Lengtefrequentieverdeling van de ruisvoorn in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver.



Figuur 25. Lengtefrequentieverdeling van de baars in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver.



Figuur 26. Lengtefrequentieverdeling van de snoek in de Fauna-Flora vijver en de Ter Bronnen vijver.

Op basis van de lengtefrequentieverdelingen is vastgesteld dat een groot aantal van de in vijvers aanwezige vissoorten zich daar niet voortplanten: brasem, spiegelkarper, zilverkarper, karper, paling, meerval, goudvis. Waarschijnlijk zijn deze vissoorten uitgezet in de vijvers. In navolging van Schmidt (2014) achtten wij het onwaarschijnlijk dat visseneieren via de poten van watervogels naar de vijvers zijn getransporteerd. Van de Fauna-Flora vijver is bekend dat deze in het verleden is gebruikt als visvijver. Van de Ter Bronnen vijver is niet bekend dat daar in het verleden vissen zijn uitgezet. Gezien de ligging van de vijvers vlakbij de bebouwde kom, kan gevoeglijk worden aangenomen, dat visstand in beide vijvers ook in de toekomst sterk zal worden beïnvloed door uitzettingen.

Het is duidelijk dat het doorzicht geen beperkende factor speelt bij de vestiging van ondergedoken waterplanten in de Fauna-Flora vijver. Op het moment van de bevissing was het water in beide plassen helder. Ook de rest van het jaar is in beide plassen sprake van bodemzicht, ondanks de aanwezige sliblaag (mon. med. Jan Wouters). De huidige dichtheden bodemwoelende vis (brasem en karper), qua biomassa de dominante vissoorten, lijken hiermee geen nadelige invloed te hebben op het lichtklimaat in beide vijvers.

In beide vijvers vormen zeelt en ruisvoorn qua individu-aantallen een groot deel van de populatie (85% Ter Bronnen en 68% Fauna-Flora ). Qua gewicht is het aandeel van beide vissoorten echter laag (10% Ter Bronnen, 15% Fauna-Flora). Zeelt en ruisvoorn staan bekend als plantenminnende vissen en waterplanten (waaronder kranswieren) maken deel uit van het dieet van beide vissoorten. De vraag is of de aanwezige zeelt en ruisvoorn de vestiging van waterplanten in de Fauna-Flora vijver verhindert. Uit de beschikbare literatuur blijkt dat het effect van vraat door vis op waterplanten niet eenduidig is; in de ene studie is wel sprake van een significant effect op de watervegetatie in andere studies niet (Dorenbosch & Bakker, 2011). Aangezien in de vijver Ter Bronnen de huidige dichtheden aan zeelt en ruisvoorn geen belemmering vormen voor een goed ontwikkelde watervegetatie, mag worden aangenomen dat de in de Fauna-Flora een eenmaal gevestigde waterplantenvegetatie niet zal verdwijnen als gevolg van vraat door vissen. Het zou in theorie wel mogelijk zijn dat de vispopulatie in de Fauna-Flora vijver de vestiging van de waterplanten verhindert door vraat van de kiemplanten. Echter, omdat in de Ter Bronnen vijver de onderwatervegetatie zich na jaren van afwezigheid zich opnieuw heeft gevestigd (Van Uytvanck et al., 2013), ondanks de aanwezige vis, is het aannemelijk dat de vispopulatie in de Fauna-Flora vijver ook geen belemmering vormt voor het herstel van de watervegetatie. Wil men op dit punt absolute zekerheid dan zullen enclosure experimenten moeten worden uitgevoerd, waarbij uitgezette of spontaan opgekomen waterplanten niet kunnen worden weggevreten door de vissen.

Mocht in de toekomst worden besloten om over te gaan tot het baggeren van de aanwezige sliblaag in de Fauna-Flora vijver, dan moet rekening worden gehouden met de aanwezige vispopulatie. Als gevolg van baggeren, in combinatie met de geringe diepte van de vijver, kan het zuurstofgehalte van het water drastisch dalen tijdens de baggerwerkzaamheden, met vissterfte als gevolg. Het verdient dan ook de voorkeur om de vissen voor aanvang van de baggerwerkzaamheden uit het water te verwijderen en elders weer uit te zetten. Na het uitvoeren van de baggerwerkzaamheden zal zich op termijn een nieuwe vispopulatie vestigen, doordat vis wordt uitgezet of eventueel via de natuurlijke weg (visseneieren aan de poten van watervogels) de vijver weet te bereiken. Indien de vis voorafgaand aan het baggeren niet wordt verwijderd zou door troebele water na het baggeren een negatieve terugkoppeling kunnen ontstaan, waarbij de vissen door het beperkte zicht meer voedsel gaan zoeken in de bodem waardoor het water troebel blijft.

In verband met eventuele herstelmaatregelen in het gebied is het goed om aandacht te besteden aan de 32 zonnebaarsen, die zijn aangetroffen in de Ter Bronnen vijver. In Nederland en België wordt de zonnebaars gezien als een invasieve exoot die een desastreus invloed kan hebben op de macrofauna- en amfibieënpopulatie ([www.natuurenbos.be](http://www.natuurenbos.be)). De zonnebaars komt hoogstwaarschijnlijk in geïsoleerde wateren terecht door uitzettingen (Van Kleef & van Delft, 2012). Gebleken is dat de Zonnebaars zich vooral weet uit te breiden in situaties waar grootschalige beheersingrepen hebben plaatsgevonden (concurrentie voordeel). Zo ontstaan bij het baggeren en de aanleg van wateren kale zandige oevers wat het voorkeursubstraat is voor de voortplanting. Daarnaast worden bij herstel de wateren meestal vrij van vis gemaakt om voortplanting van amfibieën te bevorderen (Van Kleef & Van Delft, 2012). Het is goed om de ontwikkeling van de populatie zonnebaars in de Ter Bronnen vijver in de gaten te houden met het oog op het voorkomen van vier libellensoorten in het Torfbroek, die op de Rode Lijst staan. Momenteel houden de aanwezige snoeken, de zonnebaarsen waarschijnlijk onder controle.

#### 4. Concluderende opmerkingen en aanbevelingen

Het natuurreservaat 'Het Torfbroek' is (het restant van) een doorstroommoeras dat alleen gevoed wordt door grondwater en regenwater. Het reservaat wordt gekenmerkt door basenrijk trilveen (inclusief kalkmoeras), blauwgrasland, broekbos en drie vijvers. De aangelegde vijvers in het reservaat zijn het onderwerp van deze studie. Het omvat de Torfbroekvijver zelf, de Fauna-Flora vijver (een voormalige visvijver) en de Ter Bronnen vijver. De Ter Bronnen vijver wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van uitgebreide tapijten ondergedoken waterplanten (o.a. *Chara major* en smalbladige fonteinkruiden) en vervult in dit onderzoek een soort referentiefunctie. In de Torfbroekvijver wordt dezelfde vegetatie nagestreefd (doeltype 3140), de doelvegetatie in de Fauna-Flora vijver is voorlopig gebaseerd op het type 3150 en wordt gekenmerkt door vegetatietypes zoals Magnopotamion of Hydrocharition. Mogelijk is doeltype 3140 daar later ook een mogelijkheid. De chemische kwaliteit van het oppervlaktewater, het grondwater, het slib en de waterbodem, en van de rietverlandingszone is, samen met het vast stellen van de visstand, het onderwerp van dit onderzoek.

De waterlaag van de drie vijvers wordt gekenmerkt door een hoge pH (bijna 8) en een hoge alkaliniteit. Wederom is duidelijk geworden dat het grondwater dat naar deze vijvers toestroomt, zeer rijk is aan calcium en bicarbonaat, ook de paddenstoelvorm van de Stiff-diagrammen wijst heel duidelijk op het calciumbicarbonaat-type (in optima forma!). Fosfaat speelt in het vijversysteem nauwelijks een rol; in zowel oppervlaktewater, grondwater als waterbodem werden zeer lage fosfaat- of P-concentraties gemeten. Tevens is de ijzerrijkdom van het gebied erg laag. In veel systemen is ijzer belangrijk voor de binding van fosfaat in de moeras- of waterbodem, maar in dit gebied zorgen calcium en carbonaten voor de immobilisatie van fosfaten, waardoor de impact van de afwezigheid van ijzer wat dit betreft niet groot is.

De hoeveelheid stikstof (in de vorm van ammonium en nitraat) is zeer laag in het oppervlaktewater in de Torfbroekvijver, intermediair wat nitraat betreft in de Ter Bronnen vijver, maar het nitraatgehalte is flink verhoogd in de Fauna-Flora vijver. Ook is gevonden dat deze vijver wordt gevoed met grondwater dat sterk verrijkt is met nitraat. Dit, vrij lokale grondwater is afkomstig van het aangrenzend, wat hoger gelegen landbouwgebied ten zuiden van deze vijver (Deconinck et al. 2006). Als gevolg hiervan is ook in de waterbodem zeer veel nitraat gemeten. Het zijn dergelijk hoge waarden dat het een negatieve invloed heeft op de kwaliteit van de vijver (knelpunt 1). Overigens is ook in de Ter Bronnen vijver een verhoogde nitraatconcentratie gemeten in het oppervlaktewater en is op één locatie het grondwater ook vervuild met een hoge nitraatconcentratie. De waterbodem lijkt hier echter - nog - niet verontreinigd met nitraat.

Behalve fosfor en stikstof speelt ook sulfaat een grote rol in de kwaliteit van oppervlaktewater en de ontwikkeling en handhaving van natuurwaarden. Sulfaat heeft geen directe vermestende werking, maar kan toch indirect voor eutrofiëring of aantasting van het systeem zorgen. Sulfaat dat via het grondwater toestroomt, kan indirect voor mobilisatie van fosfaat zorgen (is in dit gebied geen probleem), maar ook voor ophoping van sulfide in de waterbodem en de sliblaag. Als al het beschikbare gereduceerde ijzer in de waterbodem gebonden is aan sulfide, en er is nog steeds een overmaat S, kan sulfide gaan ophopen. Dit kan een toxische werking hebben op de groei en kieming van waterplanten. Dit proces speelt alleen in anaërobe situaties; zolang er zuurstof beschikbaar is in de bodem wordt sulfaat en ijzer niet gereduceerd en vormt sulfide een minder grote bedreiging. Het oppervlaktewater van alle drie de onderzochte vijvers is vrij rijk aan sulfaat. In het grondwater varieert de concentratie sulfaat wat meer, maar is wel op een flink aantal locaties sterk verhoogd, vooral in de nabijheid van de Torfbroekvijver, de Ter Bronnen vijver en de zone met schraallanden daar tussen in (knelpunt 2). De concentratie sulfaat in het grondwater nabij de Fauna-Flora vijver is laag en niet verrijkt met sulfaat. Dit wijst wederom dat deze wijze gevoed wordt door ander grondwater. Hoge sulfaatconcentraties in het grondwater kunnen duiden op het oplossen van

calciumsulfaten in de bodem (gips), op het oxideren van pyriet ( $\text{FeS}_2$ ), of uitlekken uit stortplaatsen. Gelet op de locaties waar het grondwater de hoogste waarden sulfaat bevat, is het zeer aannemelijk dat de bron van deze verrijking de voormalige zandgroeve/stortplaats ten zuiden van het Torfbroek is (zie Deconick et al. 2006; Boone et al. 2010).

De sulfaatconcentratie in de waterbodem is op alle locaties hoog tot zeer hoog ( $> 850 \mu\text{mol/l}$ ). De Fe/S ratio in de vaste bodem is een goede indicator van de mate waarin de sulfideophoping zou kunnen optreden. In dit opzicht is de Fauna-Flora vijver het meest gunstig; de Fe/S ratio in het slib is 2,2 en in de vaste waterbodem 9,7. Een grenswaarde voor de Fe/S-ratio is ongeveer 1, dan is er altijd genoeg Fe aanwezig om te binden met sulfide tot ijzersulfiden. De situatie in de waterbodem van het Torfbroekvijver is het minst gunstig aangezien de Fe/S ratio in het slib (wat) lager is dan 1 (knelpunt 3). De vaste waterbodem is daar iets gunstiger. Dit geldt zeker voor Ter Bronnen, waar de sliblaag in de kritieke range zit (Fe/S is 0,9 mol/mol), maar de vaste bodem veel gunstiger is.

Naast sulfaat zijn in het grondwater ook verhoogde chlorideconcentraties gemeten, waarbij het patroon vergelijkbaar was als dat van sulfaat: geen verhoogde waarden bij de Fauna-Flora vijver, maar wel bij de Torfbroekvijver en Ter Bronnen vijver, en de hoogste waarden gemiddeld in de schraallandzone er tussen in. Ook dit wijst op verontreiniging door menselijke activiteit en is het beeld consistent met de verklaring voor de sulfaatverrijking (voormalige stort/zandgroeve).

Voor de kieming en ontwikkeling van de gewenste ondergedoken waterplanten is het oppervlaktewater geschikt. De waterlaag is helder en daarin is genoeg licht voor ondergedoken waterplanten. Echter, in alle drie de vijvers is een slappe, ondoorzichtige sliblaag aanwezig, die zeer rijk is aan Ca (kalk), maar arm aan Fe en P. Deze sliblaag kan de kieming en vestiging van waterplanten ernstig bemoeilijken (knelpunt 4). Met name in de Torfbroekvijver is een sliblaag zeer dik, soms wel 70 centimeter! Het is zeer onwaarschijnlijk dat de gewenste waterplanten zich hier kunnen vestigen doordat het te weinig vaste structuur biedt om in te wortelen. Tevens slaan de wortels gemakkelijk los bij verstoring zoals harde wind of bodemwoelende vissen. Ook laat het slib vrijwel geen licht door. Zowel de sliblaag als de vaste bodem is rijk aan sulfaat en – in Fauna-Flora vijver – nitraat in het poriewater. De vaste waterbodem heeft echter een veel gunstiger Fe/S ratio, waardoor sulfide gerelateerde problemen minder snel zullen optreden. Dit is een sterke aanwijzing dat verwijdering van het losse slib een positief effect zal hebben op de betreffende vijver.

Bij de aanvoer van veel organisch materiaal zal de sliblaag veel sneller ophopen. De vele bomen rondom de Fauna-Flora vijver (en de Ter Bronnen vijver in iets mindere mate) kunnen hier in negatief opzicht aan bijdragen (knelpunt 5). De invallende bladeren worden omgezet en zorgen voor snellere aanwas van het slib. De Torfbroekvijver is omgeven door riet, waardoor dit probleem niet speelt. Indien er riet gemaaid wordt is het wel belangrijk dat het maaisel zoveel mogelijk wordt verwijderd, anders is er alsnog veel input van organisch materiaal.

In de Fauna-Flora vijver bestaat de vispopulatie qua aantallen voornamelijk uit ruisvoorn (46%), zeelt (22%) en karper (14%). Ook in de Ter Bronnen vijver bestaat de populatie voor het grootste gedeelte uit ruisvoorn (53%) en zeelt (31%), gevolgd door baars (24%). Aangezien de visdichtheid in de Ter Bronnen vijver flink hoger is dan in de Fauna-Flora vijver achtten wij het niet aannemelijk dat de vispopulatie een belemmering vormt voor de eventuele vestiging van onderwatervegetatie in de Fauna-Flora vijver. Veel van de in de Ter Bronnen vijver en Fauna-Flora vijver aanwezige vissoorten zullen ook op termijn vanzelf verdwijnen, doordat zij zich niet voortplanten in de vijvers, mits geen nieuwe exemplaren worden uitgezet. Dit geldt voor de brasem, spiegelkarper, zilverkarper, karper, paling, meerval en goudvis. De verwachting is, dat wanneer de vispopulatie in de Fauna-Flora vijver wordt weggevangen, binnen een aantal jaar sprake zal zijn van een nieuwe populatie als gevolg van uitzettingen.

In de Torfbroekvijver is er steeds minder open water aanwezig door verlanding met Riet, eigenlijk is alleen in het oosten van de vijver nog open water – wel met veel slib (knelpunt 6). De metingen in de de rietverlandingszone rondom de Torfbroekvijver komen goed met elkaar overeen (zeer hoge alkaliniteit, relatief veel meer P) maar geven een weinig eenduidig beeld wat patronen betreft, er is niet een consistent verschil waar te nemen tussen rand en oeverzone. Het is te verwachten dat deze vijver op de lange termijn via successie volledig dicht zal groeien indien er geen actie wordt ondernomen, de vijverdiepte is namelijk minder dan 1 m en er is nu al veel slib aanwezig. Daarnaast is vastgesteld dat de verlandingszone zonder aanvullend beheer een monotoon beeld geeft qua vegetatie: het is bedekt met 100% riet en soorten arm.

#### *Aanbevelingen*

Gebaseerd op de resultaten van deze studie, samen met die van de eerdere studies (De Coninck et al 2006; Boone et al. 2010; Van Uitvanck et al. 2013) worden de volgende aanbevelingen voor maatregelen gedaan, uitgesplitst per vijver:

#### **Fauna-Flora vijver**

Extern: verminderen van de toevoer van nitraat via grondwater uit het aangrenzende, bovenliggende landbouwgebied dat deze vijver voedt (knelpunt 1). Dit kan gebeuren door deze zone aan te kopen en in te richten als – onbemeste – bloemrijke graslanden, of het agrarisch gebruik zodanig aan te passen dat er alleen evenwichtsbemesting wordt uitgevoerd, waarbij geen nitraat meer verder uitspoelt.

Intern: Voor deze vijver worden twee maatregelen voorgesteld, namelijk a) het verwijderen van de bomen in de oeverzone (15-20 m) en b) het verwijderen van het slappe slib (knelpunt 5) (gemiddeld 25 cm). Door de eerste maatregel wordt de versnelde toename van het slib in de toekomst voorkomen, tevens wordt het zeer nitraatrijke slib verwijderd, waardoor de vaste waterbodem weer bloot komt te liggen, en de kans groot is dat zich er kenmerkende waterplanten kunnen vestigen, de waterkwaliteit is, uitgezonderd nitraat, zeer geschikt voor soorten uit H3140, en ook de chemische kwaliteit van de vaste waterbodem is duidelijk beter dan die van het slib. Het slib zou kunnen worden verwijderd via twee methoden, namelijk via de natte methode (wegzuigen met bootje) of via droogpompmethode (zie bijlage IX). Er moet bij ontslibbing wel rekening gehouden worden met de effecten op de vispopulatie, door deze voor de maatregel eerst af te vangen, of restpopulaties van bijzondere soorten (via bijvoorbeeld uitsparen).

#### **Torfbroekvijver**

Extern: het verminderen van de toevoer van sulfaat en (chloride) via het grondwater is essentieel voor de langetermijn instandhouding van deze vijver (en in de toekomst ook voor de aangrenzende schraallanden) (knelpunt 2 en 3). Het is daarom van groot belang er voor te zorgen dat geen lekkage en toestroom meer is uit de bovengelegen zandgroeve/stortplaats in het zuiden. Gelet op de toestroomtijd van het grondwater (5-20 jaar) zal deze maatregel pas effect hebben op de wat langere termijn, maar is toch zeer urgent.

Intern: voor deze vijver worden (in principe) twee maatregelen aanbevolen, en wel a) het verwijderen van de dikke sliblaag (knelpunt 5) en b) het controleren van de uitbreiding van Riet. Door het –voorzichtig – verwijderen van de dikke sliblaag via de *natte methode* komt de vaste waterbodem weer bloot voor vestiging van ondergedoken waterplanten. De kans daarop is groot, de kwaliteit van het oppervlaktewater voldoet zeker aan de eisen voor de gewenste ondergedoken waterplanten zoals kranswieren (H3140). Tevens heeft de vaste waterbodem een wat hogere Fe/S-verhouding, waardoor het systeem wat langer gevrijwaard zal blijven van verhoogde sulfidegehalte doordat er net wat meer Fe is om sulfide te binden. Dit is extra van belang aangezien het zeker nog wel 5-20 jaar kan duren voordat het voedende grondwater niet meer zoveel sulfaat bevat. Een nevenvoordeel van het verwijderen van de sliblaag in de Torfbroekvijver is dat de waterlaag weer dieper wordt, waardoor het riet minder snel het water ‘in zal lopen’. Het vermoeden bestaat echter

dat dit – uiteindelijk - toch zal gebeuren. Indien de rietuitbreiding in de toekomst als te groot wordt beschouwd, zou het dan kleinschalig verwijderd kunnen worden. Hiervoor bestaan enkele technieken, zoals zomermaaien of het weggraven van riet. Bij het zomermaaien worden de groene, groeiende delen van de plant, waarmee het rhizoomstelsel wordt uitgeput. Het weggraven van riet is een agressievere aanpak waarbij niet alleen de groene delen worden verwijderd, maar ook het rhizoomstelsel en het substraat waarin de rhizomen groeien. Op deze (intensieve) manier kan de hoeveelheid riet verminderd worden en is het handhaven van open water langer mogelijk in de Torfbroekvijver. Beide methoden staan beschreven in Van Uitvanck et al., 2013. De rietverlandingszone zelf is momenteel floristisch weinig interessant. Er wordt al jaarlijks gemaaid in de zomer op een drietal locaties. Hiermee worden zeer interessante alkalische laagveenvegetaties ontwikkeld, hetgeen al is bewezen op deze locaties (van Uytvanck et al., 2013). Het is dus zeker de overweging waard om het areaal uit te breiden waar het zomermaaien wordt toegepast.

### **Ter Bronnen vijver**

Voor deze vijver gelden geen aanbevelingen die op korte termijn zouden moeten worden uitgevoerd. Er is tenslotte nog een grote oppervlakte van de vijver begroeid met een ondergedoken waterplanten van het betreffende doeltype aanwezig. Dat betekent niet automatisch dat alle biogeochemische eigenschappen in en rondom de vijver heel gunstig zijn. Plaatselijk zijn er verhoogde nitraat- en sulfaatgehalten geconstateerd in het grondwater, de waterlaag is duidelijk rijker aan nitraat dan verwacht en tevens is sulfaat verhoogd in het poriewater van de waterbodem. De algehele situatie, zoals slibdikte en waterplantengroei is nu nog relatief goed, maar als de sliblaag dikker wordt in de toekomst, zou dit mogelijk ook problemen kunnen veroorzaken voor de vegetatie van ondergedoken waterplanten.

### **Aanbevelingen voor de toekomst:**

Met het verwijderen van bomen in de oeverzone (15-20 m) kan bladinvall voorkomen worden. Hierdoor wordt de aanwas van de slibdikte in de vijver vertraagd, hetgeen gunstig is voor het systeem. Indien de sliblaag toch dikker blijft worden is het wellicht noodzakelijk om in de toekomst het slib te verwijderen. Dit kan via de natte of de droge methode, of mogelijk zelfs door tijdelijke droogval (Westendorp et al., 2012). Door deze maatregel kunnen planten weer beter wortelen en komt de vaste waterbodem aan het oppervlak. Dit laatste is gunstig, aangezien de vaste bodem een hogere Fe/S ratio (mol/mol) heeft. Omdat de sulfaat- en nitraatconcentratie in het toestromende grondwater op een aantal locaties sterk verhoogd is, zou aanpak van deze problematiek zeer zinvol zijn. Het is bij deze vijver echter moeilijk vast te stellen waar deze hoge waarden vandaan komen, waardoor het oplossen van dit probleem geen gemakkelijke opgave is, en waarschijnlijk een meer uitgebreide studie naar de grondwaterstroming naar deze vijver nodig is om de feitelijke bron van deze verhoogde concentraties te achterhalen.



## Literatuur

- Aravena R, Robertson WD (1998) Use of multiple tracers to evaluate denitrification in ground water: study of nitrate from a large-flux septic system plume. *Ground Water* **36**:975–982.
- Bobbink, R., Bouwman, J.H., Brouwer, E., Everts, E., Horsthuis, F.H., van Kleef, H.H. & Klimkowska, A., 2013. *Preadvies kleine ecotopen in de hydrologische gradiënt*. Rapport nr. 2013/OBN173-NZBE. Ministerie van EZ, Directie Agrokennis. Den Haag, 223 pp.
- Bobbink, R., Hart, M., van Kempen, M., Smolders, A. & Roelofs, J. 2007. *Grondwaterkwaliteitsaspecten bij vernatting van verdroogde natte natuurparels in Noord-Brabant*. Rapportnummer 2007.15, B-WARE Research Centre.
- Brouwer, E., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M. & Verheggen, G.M. 1996. *Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring van oppervlaktewateren*. Eindrapport monitoringsprogramma tweede fase. Vakgroep Oecologie, K. U. Nijmegen. 206 pp.
- Boedeltje G., Smolders A.J.P. & Roelofs J.G.M. 2005. Combined effects of water column nitrate enrichment, sediment type and irradiance on growth and foliar nutrient concentrations of *Potamogeton alpinus*. *Freshwater Biology* **50**: 1537-1547.
- Cirkel, G. & K. van Beek 2012. Sulfaat, bedreiging of zegen voor vorming kalkmoeras? *H<sub>2</sub>O* **1**: 31- 33
- Deconinck, M., Degezelle, T. & Libbrecht, D., 2006. *Ecohydrologische studie van het natuurgebied 'Het Torfbroek' (Kampenhout) – Onderzoek naar de haalbaarheid voor het natuurinrichtingsproject Torfbroek*. 05/09768/ DLI, Ecolas 121 pp.
- Dorenbosch, M. & E.S. Bakker, 2011. Herbivory in omnivorous fishes: effect of plant secondary metabolites and prey stoichiometry. *Freshwater Biology* **56**: 1783–1797.
- Klein Breteler, J.G.P. & G.A.J. de Laak, 2003. *Lengte-gewicht relaties Nederlandse vissoorten*. Deelrapport 1. Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein. OVB rapportnummer: OND00074, 12 p.
- Lamers, L. (red.), J. Sarneel, J. Geurts, M. Dionisio Pires, E. Remke, H. van Kleef, M. Christianen, L. Bakker, G. Mulderij, J. Schouwenaars, M. Klinge, N. Jaarsma, S. van der Wielen, M. Soons, J. Verhoeven, B. Ibelings, E. van Donk, W. Verberk, H. Esselink & J. Roelofs, 2010. *Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren*. OBN Eindrapportage 2006-2009 (Fase 2). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis, 251 pp.
- Lamers L.P.M., Schep S., Geurts J. & Smolders A.J.P., 2012. Erfenis fosfaatrijk verleden: helder water met woekerende waterplanten. *H<sub>2</sub>O* **45**(13): 29-31
- Poelen, M. D. M., L. J. L. van den Berg, G. N. J. ter Heerdt, R. Bakkum, A. J. P. Smolders, N. G. Jaarsma, R. J. Brederveld, and L. P. M. Lamers. 2012. *WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en nutriënten (BAGGERNUT) – Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT)*. Eindrapportage 2012. B-Ware Research Centre, Nijmegen.
- Postma D, Boesen C, Kristiansen H, Larsen F (1991) Nitrate reduction in an unconfined aquifer: water chemistry, reduction processes an geochemical modeling. *Water Resour Res* **27**:2027–2045.

Raun A.L., Borum J. & Sand-Jensen K., 2010. Influence of sediment organic enrichment and water alkalinity on growth of aquatic isoetid and elodeid plants. *Freshwater Biology*, **55**, 1891–1904.

Schmidt, B.R., 2014. *Transporteren eenden vissen naar voortplantingswateren van amfibieën?* RAVON 53, 16 (2): 31-36.

Smolders A.J.P. & Roelofs J.G.M., 1996. The roles of internal iron hydroxide precipitation, sulphide toxicity and oxidizing ability in the survival of *Stratiotes aloides* roots at different iron concentrations in sediment pore water. *New Phytologist* **133**: 253-260.

Smolders, A.J.P., Lucassen, E.C.H.E.T., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M. & Lamers, L.P.M., 2010. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. *Biogeochemistry* **98**: 1-7.

Schutten J., Dainty J. & Davy A.J., 200.) Root anchorage and its significance for submerged plants in shallow lakes. *Journal of Ecology*, **93**, 556–571.

Van Kleef, H. & J. van Delft, 2012. Naar bestrijdingsmogelijkheden van de Zonnebaars. *Levende Natuur* **113(2)**: 40-44.

Van Uytvanck, J., J. Packet, L. Denys & G de Blust, 2013. *Beheerdoelen en inrichtings- en beheermaatregelen voor de vijvers in het Torfbroek*. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Westendorp, P.J., R. Loeb, G. Roskam, E.C.H.E.T. Lucassen, M. Thannhauser, F. Ebbens, H. Hut & A.J.P. Smolders, 2012. *Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel*. STOWA rapport 2012-38.

# **Bijlage I: Kenmerken van de bestaande en nieuw geplaatste grondwaterbuizen**

Locatie	Watinacode	X (WGS84)	Y (WGS84)	Plaatselijke naam	Peilbuis lengte (m)	Filter-lengte (m)
1	TORP001E	4,54037	50,92451	PB01: Akker	2,86	0,3
6	TORP006C	4,55076	50,92970	Ter Bronnen	1,29	0,3
7	TORP007C	4,54099	50,92617	Paddenrus ondiep; bagger laag	1,62	0,3
12	TORP012A	4,53849	50,92654	V12: FaunaFloraVijver	2,63	0,3
14	TORP014A	4,54502	50,92607	V14: Ingang Knopbieswei	0,84	0,3
15	TORP015B	4,54290	50,92616	V15: Droge wei	0,54	0,3
20	TORP020X	4,54211	50,92721	V20: EducatiefFilipMathilde	1,39	0,3
21	TORP021C	4,54705	50,92790	P21; den driehoek	1,22	0,3
22	TORP022X	4,54660	50,92664	V22: Rabat	1,15	0,3
24	TORP024X	4,55118	50,92881	V24: TerbronnenRuig	1,43	0,3
28	TORP028X	4,53800	50,92743	V28: gazon	1,67	0,3
29	TORP029A	4,54642	50,92530	TORP044X; V00: Diver	1,97	0,3
30	n.v.t.	4,53684	50,92646	Nieuw geplaatste buis	2,53	0,5
31	n.v.t.	4,53749	50,92570	Nieuw geplaatste buis	2,49	0,5
32	n.v.t.	4,55389	50,93069	Nieuw geplaatste buis	1,85	0,5

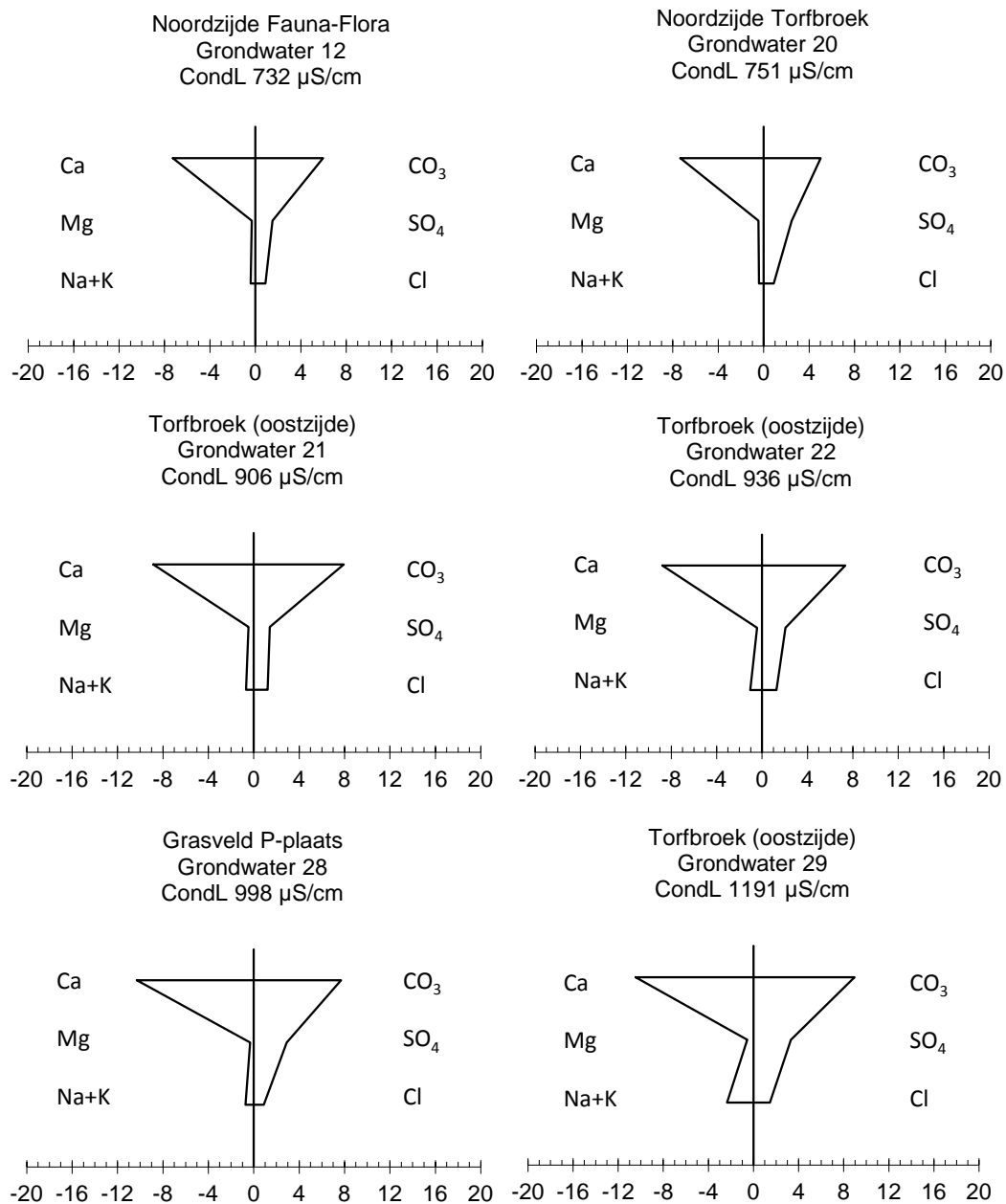
**Bijlage II:** Omreken tabel van  $\mu\text{mol/l}$  naar  $\text{mg/l}$

	$\mu\text{mol/l}$	$\text{mg/l}$
<b>Fe</b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 55,85) / 1000$	10	0,6
	50	2,8
	100	5,6
<b>Ca</b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 40,08) / 1000$	50	2,0
	500	20,0
	1000	40,1
	2000	80,2
<b>S</b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 32,07) / 1000$	50	1,6
	200	6,4
	500	16,0
<b>P</b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 30,97) / 1000$	1	0,0
	5	0,2
	20	0,6
	100	3,1
<b>PO<sub>4</sub></b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 94,97) / 1000$	1	0,1
	5	0,5
	20	1,9
	100	9,5
<b>N</b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 14,01) / 1000$	5	0,1
	20	0,3
	100	1,4
	500	7,0
<b>NO<sub>3</sub></b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 62,01) / 1000$	5	0,3
	20	1,2
	100	6,2
<b>NH<sub>4</sub></b> $\text{mg/l} = (\text{conc. } \mu\text{mol/l} * 18,05) / 1000$	50	0,9
	200	3,6
	500	9,0

**Bijlage III:** Kwaliteit van het oppervlaktewater, per locatie

Locatie	Vijver	pH	Alkaliniteit	Turbiditeit	EGV	Ca	S	Si	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Cl
			meq/l	ppm	μS/cm	μmol/l						
1	Fauna Flora	7,7	4,8	4	742	3650	1055	174	328	3,8	0,09	1053
2	Fauna Flora	7,9	4,5	5	731	3528	1029	135	439	3,2	0,15	1053
3	Fauna Flora	7,9	4,5	3	736	3550	1031	138	493	2,8	0,09	1053
4	Fauna Flora	7,9	4,5	4	734	3473	1028	127	461	1,7	0,08	1063
5	Torfbroek	7,9	5,0	4	690	3231	912	489	9,1	2,1	0,09	865
6	Torfbroek	7,8	5,0	4	710	3303	966	483	28,7	0,7	0,09	906
8	Torfbroek	7,9	4,9	6	668	3131	850	489	7,7	0,2	0,08	805
9	Westzijde Torfbroek	7,8	6,6	4	779	3810	635	499	17,1	0,6	0,14	991
10	Ter Bronnen	7,8	4,2	1	685	3141	1041	267	257	4,8	0,10	1021
12	Ter Bronnen	8,0	4,1	3	657	2997	1006	265	209	4,2	0,11	958

**Bijlage IV:** Stiff-diagrammen van de peilbuizen 12, 20, 21, 22, 28 en 29.



**Bijlage V:** Gemeten waarden van het waterbodembodem, zowel slib als vaste bodem.

Locatie	Vijver	Type	Vocht	Bulk density	Org. stof	Al	Ca	Fe	P	S	Fe/S
			%	kg Dw/l FW	%		mmol/l verse bodem				mol/
1	Fauna Flora	slib	66,6	0,4	5,8	55,8	1424	34,3	4,7	23,1	1,5
1	Fauna Flora	vast	31,7	1,2	1,9	168,7	1259	108,7	9,0	11,3	9,6
2	Fauna Flora	slib	68,1	0,4	7,6	90,6	1216	59,0	3,4	20,2	2,9
2	Fauna Flora	vast	17,7	1,6	0,9	214,7	991	158,7	8,1	24,4	6,5
3	Fauna Flora	slib	59,2	0,5	7,7	96,7	966	58,1	4,6	16,2	3,6
3	Fauna Flora	vast	27,9	1,3	1,6	198,7	1300	134,9	8,7	7,9	17,1
4	Fauna Flora	slib	56,8	0,6	4,9	75,3	1632	51,3	5,1	58,3	0,9
4	Fauna Flora	vast	24,9	1,4	1,5	150,7	1470	100,6	7,1	17,8	5,7
5	Torfbroek	slib	83,2	0,2	16,4	30,2	981	29,4	1,6	40,5	0,7
5	Torfbroek	vast	52,8	0,7	6,1	137,8	2144	120,4	4,7	98,9	1,2
6	Torfbroek	slib	84,7	0,2	13,0	21,4	1025	22,2	1,1	44,5	0,5
6	Torfbroek	vast	61,6	0,5	14,5	131,9	1658	113,8	3,8	119,6	1,0
7	Torfbroek	slib	89,8	0,1	19,8	8,2	585	7,5	2,7	23,2	0,3
7	Torfbroek	vast	30,0	1,2	3,4	314,3	1354	273,2	12,7	250,7	1,1
8	Torfbroek	slib	69,1	0,4	9,6	68,2	1460	150,2	2,7	277,6	0,5
8	Torfbroek	vast	42,6	0,9	7,5	268,8	1185	415,7	8,9	608,9	0,7
9	Westzijde Torfbr.	slib	64,8	0,5	5,5	74,6	1722	52,6	3,1	17,7	3,0
9	Westzijde Torfbr.	vast	29,9	1,1	3,4	322,6	826	254,8	10,8	137,4	1,9
10	Ter Bronnen	slib	53,8	0,7	5,3	53,9	1049	46,8	4,2	42,2	1,1
10	Ter Bronnen	vast	20,3	1,5	0,5	73,1	41	108,3	1,6	10,4	10,5
11	Ter Bronnen	slib	65,2	0,4	5,7	51,3	2617	36,0	2,1	48,1	0,7
11	Ter Bronnen	vast	28,7	1,3	2,1	229,7	1510	171,3	10,9	71,0	2,4
12	Ter Bronnen	slib	60,2	0,5	4,9	58,4	2977	39,5	2,2	49,9	0,8
12	Ter Bronnen	vast	22,3	1,5	1,3	185,6	1233	129,4	9,6	59,1	2,2

**Bijlage VI:** Gemeten waarden in het poriewater van de waterbodem, zowel slib als vaste bodem.

Locatie	Vijver	Type	pH	Alkaliniteit	EGV	Ca	Fe	K	P	S	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
				meq/l	μS/cm	μmol/l						
1	Fauna Flora	slib	7,3	5,2	872	3900	0,1	38,0	0,4	1073,0	1702,1	1,2
1	Fauna Flora	vast	7,3	5,1	853	3820	0,1	50,5	0,9	1033,1	1546,3	0,4
2	Fauna Flora	slib	7,3	5,1	869	4079	0,1	23,9	0,1	978,8	1519,2	0,6
2	Fauna Flora	vast	7,2	4,9	872	4179	0,0	24,6	0,2	1418,5	1259,2	0,8
3	Fauna Flora	slib	7,2	5,2	897	4209	0,0	21,9	0,7	1145,0	1457,7	2,3
3	Fauna Flora	vast	7,4	4,9	860	3992	0,1	23,4	0,1	1098,8	1513,4	2,6
4	Fauna Flora	slib	7,3	5,1	754	3570	0,1	34,1	0,5	1224,2	437,4	5,2
4	Fauna Flora	vast	7,4	4,5	773	3585	0,0	30,2	0,1	1288,1	784,9	1,6
5	Torfbroek	slib	7,5	5,0	812	3875	0,1	35,1	0,0	1545,7	308,0	2,1
5	Torfbroek	vast	7,3	5,1	828	3987	1,3	51,2	0,1	1715,6	15,1	0,7
6	Torfbroek	slib	7,4	5,8	951	4508	0,5	33,1	0,0	2000,6	1,0	33,8
6	Torfbroek	vast	7,6	5,6	695	3273	0,7	18,0	1,0	824,8	0,3	30,7
7	Torfbroek	slib	7,6	5,3	608	2690	8,6	8,0	4,5	695,4	0,2	55,7
7	Torfbroek	vast	7,6	5,0	603	2682	0,8	30,1	0,8	744,0	0,0	5,5
8	Torfbroek	slib	7,4	5,3	636	2839	0,4	39,3	0,2	812,3	0,1	23,0
8	Torfbroek	vast	7,7	5,1	650	2907	0,3	44,5	0,4	994,1	0,1	6,4
9	Westzijde Torfbr.	slib	7,3	4,7	805	3713	0,1	23,8	0,0	1265,4	853,0	0,5
9	Westzijde Torfbr.	vast	7,4	4,6	795	3675	0,4	42,1	0,1	1556,9	336,8	0,7
10	Ter Bronnen	slib	7,7	5,5	763	3311	1,4	75,5	4,6	1190,8	0,1	110,8
10	Ter Bronnen	vast	7,7	4,5	1005	4444	0,1	228,7	0,1	3289,7	6,8	30,7
11	Ter Bronnen	slib	7,5	4,3	505	2157	2,1	40,1	0,8	499,2	0,1	42,6
11	Ter Bronnen	vast	7,7	3,5	455	1880	3,2	39,2	1,9	563,5	0,1	21,0
12	Ter Bronnen	slib	7,6	4,1	558	2366	0,5	47,4	0,3	867,5	0,5	31,1
12	Ter Bronnen	vast	7,7	3,8	496	2168	4,3	36,5	1,3	689,4	0,5	4,4



**Bijlage VII:** Gemeten waarden in het poriewater van rietzone rondom Torfbroek en 2 locaties in Ter Bronnen, van zowel 20 als 40 cm beneden maaiveld.

Locatie	Vijver	Diepte	pH	Alk	EGV	Ca	Fe	K	P	S	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	Cl
				meq/l	μS/cm	μmol/l							
1	Torfbroek	20 cm	7,0	10,2	1205	5551	0,7	198,1	6,0	809,2	232,4	35,6	2135
1	Torfbroek	40 cm	7,5	11,9	1057	5504	12,7	43,7	5,1	437,5	1,6	44,1	1343
2	Torfbroek	20 cm	7,1	12,0	1161	5853	0,7	125,9	4,6	421,6	83,3	13,9	1618
2	Torfbroek	40 cm	7,2	12,1	1080	5689	9,1	45,2	3,0	236,5	0,5	22,2	1307
3	Torfbroek	20 cm	7,0	12,4	1151	5841	3,8	98,5	4,7	285,2	0,6	12,2	1325
3	Torfbroek	40 cm	7,6	13,2	1097	5574	4,2	118,0	3,8	282,9	1,7	9,8	1088
4	Torfbroek	20 cm	7,7	7,0	674	3306	6,5	122,4	3,7	323,4	1,5	20,8	969
4	Torfbroek	40 cm	7,1	9,2	891	4419	8,3	59,3	5,2	257,3	0,1	18,4	1202
5	Torfbroek	20 cm	7,0	10,0	1049	5232	5,9	44,4	1,7	583,4	0,4	16,0	1700
5	Torfbroek	40 cm	7,3	9,7	1029	5015	6,5	57,2	3,3	696,9	0,1	11,8	1548
6	Torfbroek	20 cm	7,1	8,4	875	4149	0,8	156,4	2,5	344,6	0,1	40,6	1299
6	Torfbroek	40 cm	7,1	11,2	1105	5372	11,4	44,6	5,2	308,4	0,0	8,8	1735
7	Torfbroek	20 cm	6,9	12,1	1170	5629	7,8	47,9	0,8	123,1	2,3	10,7	1655
7	Torfbroek	40 cm	7,0	12,3	1172	5402	6,2	31,8	1,8	176,1	0,1	6,7	1785
8	Torfbroek	20 cm	7,2	13,7	1367	6085	2,1	194,2	15,3	570,6	2,8	754,0	1811
8	Torfbroek	40 cm	7,8	17,5	1524	5125	8,0	323,5	26,3	324,9	0,3	4803,0	1786
9	Torfbroek	20 cm	7,0	11,0	1216	5968	3,7	70,0	12,5	882,8	0,0	29,6	2705
9	Torfbroek	40 cm	7,1	11,9	1297	6180	5,4	49,6	17,8	1024,6	0,0	194,3	2808
10	Torfbroek	20 cm	7,3	13,6	1331	6307	3,4	98,1	1,7	206,0	0,1	49,2	2083
10	Torfbroek	40 cm	7,2	14,4	1404	6869	0,7	111,1	1,4	291,7	0,0	21,5	2340
11	Torfbroek	20 cm	7,2	10,9	1126	5212	0,5	68,2	1,5	483,9	0,0	15,2	2151
11	Torfbroek	40 cm	7,2	13,3	1373	6322	2,1	78,9	1,6	576,6	0,1	12,4	2570
12	Torfbroek	20 cm	7,0	11,3	1146	5706	1,3	90,6	2,4	440,3	0,1	6,6	2243
12	Torfbroek	40 cm	7,0	13,8	1371	6781	11,2	55,6	10,3	246,1	0,1	8,2	2536
13	Torfbroek	20 cm	7,1	11,4	1063	5220	7,4	76,6	5,6	324,6	0,1	16,0	1255
13	Torfbroek	40 cm	7,2	13,5	1210	5467	0,4	97,1	3,4	233,5	0,1	9,6	1430
14	Ter Bronnen	20 cm	7,4	5,5	588	2640	2,2	70,8	5,5	436,9	28,6	0,0	853
14	Ter Bronnen	40 cm	7,3	6,2	652	3001	3,2	78,1	4,4	436,2	90,7	14,5	738
15	Ter Bronnen	20 cm	7,0	8,9	776	3842	0,3	116,9	1,3	104,1	3,7	24,7	515
15	Ter Bronnen	40 cm	7,0	8,9	783	3792	0,8	69,2	1,1	60,1	0,7	11,6	499

# Bijlage VIII: Vangstgegevens Fauna-Flora vijver en Ter Bronnen vijver

Lengte (cm)	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T	FF	T
	ba	ba	br	br	gv	gv	ka	ka	mv	mv	pa	pa	rv	rv	sk	sk	sn	sn	zb	zb	ze	ze	zk	zk				
0																												
1																												
2																												
3													11							30								
4													14							1								
5													1															
6																												
7													3															
8		10											2							1						1		
9													3															
10		1																										
11													3															
12													8	1														
13	1	1											3	2														
14		8																										
15	2	7																										
16		16																										
17		17																										
18																												
19		1																										
20																												
21		1																										
22																												
23																												
24																												
25																												
26																												
27																												
28																												
29																												
30																												
31																												
32																												
33																												
34																												
35																												
36																												
37																												
38																												
39																												
40																												
41																												
42																												
43																												
44																												
45																												
46																												
47																												
48																												
49																												
50																												
51																												
52																												
53																												
54																												
55																												
56																												
57																												
58																												
59																												
60																												
61																												
62																												
63																												
64																												
65																												
66																												
67																												
68																												
69																												
70																												
71																												
72																												
73																												
74																												
75																												
76																												
77																												
78																												
79																												
80																												
>80																												
Totaal	3	62	0	45	1	0	15	4	0	3	4	13	48	137	2	4	8	12	0	32	23	80	0	1				

## **Bijlage IX: Methode van slibverwijdering**

In de Fauna-Flora vijver kan er gekozen worden voor twee methodes om het slib te verwijderen, namelijk via de natte methode of de droge methode. Voor het verwijderen van het slib in de Torfbroekvijver wordt aanbevolen om de natte methode te gebruiken, aangezien anders de trilveenvegetatie nadelige effecten ondervindt. Voor de Ter Bronnen vijver geldt vooralsnog geen directe aanbeveling om op korte termijn slib te verwijderen. Indien in de toekomst de sliblaag te dik wordt en de waterplantenvegetatie achteruit gaat, zou het vervolgens wel noodzakelijk kunnen zijn om ook in deze vijver het slib te verwijderen. In de Ter Bronnen zou ook voor beide methoden gekozen kunnen worden. Een andere mogelijk zeer effectieve methode voor deze vijver kan 'tijdelijke droogval' zijn. Hierbij wordt veel nitraat afgevoerd en organisch materiaal omgezet door blootstelling aan zuurstof. Er is zeer uitgebreide informatie te vinden op de volgende website:

[http://www.stowa.nl/projecten/droogval\\_als\\_maatregel\\_ter\\_verbetering\\_van\\_de\\_waterkwaliteit](http://www.stowa.nl/projecten/droogval_als_maatregel_ter_verbetering_van_de_waterkwaliteit)

### **Natte methode**

Bij de natte methode om te ontslibben wordt met een bootje met een zuiger (zie voorbeeld op foto 1) het slib opgezogen en via een buis afgevoerd. Een voordeel van deze methode is dat de vijver het water kan behouden. Een minpunt is dat nooit 100% van het slib zal worden verwijderd, er blijft altijd een (klein) deel achter. Een ander nadeel is het transport van al het slib, wat voor een zeer groot deel uit water zal bestaan, waardoor het transport behoorlijk omvangrijk zal zijn, terwijl dit eigenlijk niet nodig is. Voor macrofauna en de populatie vis (indien die behouden moet blijven) is deze methode gunstig. Voor meer details over deze methode, zie Uytvanck *et al.*, 2013.

*Foto 1: Voorbeeld van een baggerboot*

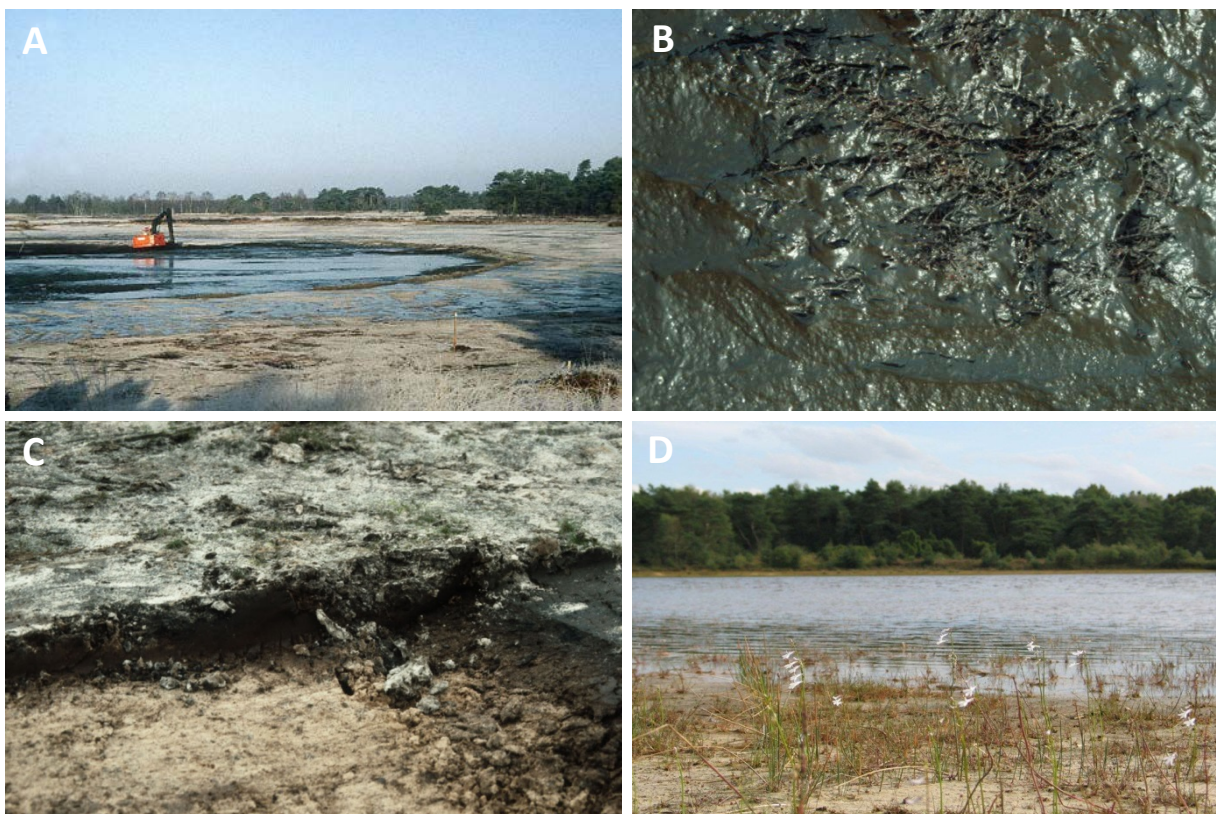


Bron: [www.werktuigen.nl](http://www.werktuigen.nl)

### Droge methode

Het droog verwijderen van slib is een methode die goed toepasbaar is indien het een “gesloten” systeem betreft waar geen watergangen of grachtjes mee verbonden zijn die oppervlaktewater de vijver inlaten komen. Bij de droge methode wordt de vijver leeggepompt, in ondiepe vijvers zoals de Fauna-Flora vijver kan dat meestal in 1-2 weken. De pomp zal na droogval wel moeten blijven draaien, om te voorkomen dat de vijver door kwel weer volloopt. De sliblaag zal vervolgens inklinken gedurende ongeveer twee weken (is afhankelijk van slibdikte en bodemmateriaal, en uiteraard weersomstandigheden), waarna het slib met een graafmachine op rijplaten zeer nauwkeurig kan worden verwijderd (zie ook foto 2 C) tot op de minerale vaste bodem. Het voordeel van deze methode is dat het slib zeer nauwkeurig en volledig verwijderd kan worden en dat deze massa van het in gedroogde slib veel minder is dan van het natte slib, waardoor de transportkosten veel lager zijn. Bij deze methode moet wel rekening worden gehouden met de eventuele visstand e.d. Sinds de jaren '90 zijn er in Nederland veel projecten op deze wijze succesvol uitgevoerd voor herstel van gebufferde vennen, zwak gebufferde wateren en duinplassen met kranswiervegetaties (foto 2 D) (o.a. Brouwer *et al.*, 1996) .

*Foto 2: A: Voorbeeld van een ven in het Bergvennencomplex waar de droge methode wordt uitgevoerd. Het weke en natte slib (2B) klinkt uiteindelijk helemaal in (2C) tot het verwijderd kan worden (2A). Het resultaat (D), een zwak gebufferd ven met goede waterkwaliteit en een goed ontwikkelde waterplantenvegetatie, waaronder veel waterlobelia.*



Uitgebreide en aanvullende informatie over de twee methoden kan gevonden worden op:

<http://www.natuurkennis.nl/sleutels/vennensleutel/>